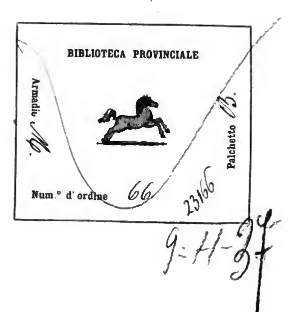

VITTORIO EM


FONDO PROVINCIA




BIBLIOTECA PROVINCIALE
Armadio
Palchetto
Num.° d' ordine 66
23166


NAZIONALE
B. Prov.
I
2100
NAPOLI
R. BIBLIOTECA
VITT. EM. III

EXPÉRIENCES

SUR

LE TIRAGE DES VOITURES.



METZ. — TYPOGRAPHIE DE S. LAMORT,

Rue du Palais, 10.

EXPÉRIENCES

SUR LE

TIRAGE DES VOITURES,

FAITES EN 1837 ET 1838,

PAR

ARTHUR MORIN,

Capitaine d'Artillerie, ancien élève de l'École Polytechnique, professeur de Machines à l'École d'Application de l'Artillerie et du Génie, membre de l'Académie royale de Metz.







METZ.

Mme THIEL, LIBRAIRE, RUE DU PALAIS, 2.

PARIS.

CARILIAN-GOEURY, LIBRAIRE, QUAI DES AUGUSTINS, 41.
L. MATHIAS, LIBRAIRE, QUAI MALAQUAIS, 15.

1839



RAPPORT

SUR UN MÉMOIRE AYANT POUR TITRE:

EXPÉRIENCES SUR LE TIRAGE DES VOITURES,

PRÉSENTÉ PAR M. ARTHUR MORIN, CAPITAINE D'ARTILLERIE, PROFESSEUR
A L'ÉCOLE D'APPLICATION DE METZ.

COMMISSAIRES: MM. ARAGO, PONCELET, CORIOLIS Rapporteur.

(Extrait des Comptes-Rendus des séances de l'Académie des Sciences, séance du 31 décembre 1838.)

L'Académie nous a chargés, M. Arago, M. Poncelet et moi, de lui faire un rapport sur un travail de M. Morin, ayant pour objet des recherches expérimentales sur le tirage des voitures et sur les dégradations des routes.

Il n'est pas nécessaire de faire sentir combien ce travail a d'importance et combien il arrive à propos, dans un moment où le gouvernement et les chambres s'occupent de fixer un tarif de chargement, qui, sans gêner le commerce, mette les routes à l'abri d'une trop rapide destruction. Ces nouvelles recherches de M. Morin doivent être d'autant mieux accueillies, qu'on n'avait jusqu'à présent, sur ce sujet, que des observations faites sans grande précision, et présentées sans conséquences bien établies.

Les premiers essais que nous connaissions sur le tirage des voitures sont dus à Edgeworth, qui publia, en 1797, quelques expériences sur l'influence du diamètre des roues sur l'effort du tirage pour faire passer une voiture sur un obstacle. Il signale comme une erreur la préférence que donnaient, aux petites roues, certains constructeurs. Mais, en entrant ainsi dans une idée juste, il n'en avait pas senti toute la portée, puisqu'il place le principal avantage des grandes roues dans la diminution d'influence qu'elles donnent au frottement des essieux.

Le même observateur a donné le premier aussi des expériences qui ont montré l'influence des ressorts pour diminuer le tirage.

Rumford a publié, en 1811, des expériences qui montrent l'influence de la largeur des bandes et de la vitesse sur la force de tirage qu'exigent les voitures. Ses observations, quoique ne pouvant avoir une grande précision, à cause du dynamomètre dont il s'est servi, se trouvent néanmoins d'accord avec celles de M. Morin, pour établir une proportionnalité entre la traction et la vitesse.

M. de Gerstner, professeur à l'institut des arts des États de Bohême, a donné en 1813, dans un ouvrage sur les routes, des considérations théoriques sur le tirage des voitures. Mais elles sont trop éloignées de la réalité, pour avoir conduit l'auteur à de bons résultats. Aussi les lois qu'il présente diffèrent-elles de celles que fournissent les expériences de M. Morin.

M. Navier, dans un écrit publié en 1835 sur la police du roulage, a présenté les considérations théoriques qui le portaient à n'admettre, pour les messageries, qu'un chargement plus faible que pour le roulage. Il estime que les dégradations des chaussées croissent comme le quarré de la vitesse des véhicules. En ayant égard d'une autre part à l'avantage des ressorts, il avait pensé que les dégradations produites sur les routes par les messageries, seraient à poids égal, une fois et demie ou une fois trois quarts celles qu'occasionnent les voitures de roulage au pas sans ressorts. Les

expériences de M. Morin ont démontré l'inexactitude de cette estimation.

L'ingénieur anglais Macneill qui s'est occupé des mêmes questions, est tombé dans la même erreur, puisqu'il propose aussi d'accorder aux fourgons non suspendus, allant au petit trot, des chargemens plus forts que ceux des diligences.

Un jeune ingénieur français, M. Dupuit, a publié en 1837 un travail étendu sur la même question. Il est le premier qui ait mis en évidence, par une série d'expériences, l'influence du diamètre des roues sur le tirage, mais comme il n'a pu employer que les dynamomètres ordinaires, la loi qu'il donne et qui rendrait ce tirage en raison inverse de la racine quarrée du diamètre des roues, ne nous paraît pas devoir être préférée à celle qui résulte des expériences de M. Morin, c'est-à-dire à la simple raison inverse du diamètre, loi que Coulomb avait déjà donnée pour le roulement des cylindres de bois.

Le peu d'accord entre les observateurs qui ont précédé M. Morin, faisait désirer un travail plus exact et plus complet. Les ingénieux appareils dynamométriques, pour lesquels l'auteur a reçu un prix de l'Académie, devaient trouver ici leur emploi. C'est effectivement en mesurant directement la traction à l'aide de ces instrumens, qu'il a procédé aux expériences qui lui ont servi à établir les lois qu'il présente dans son mémoire : elles se rapportent à l'influence qu'ont sur le tirage le poids du chargement, le diamètre des roues, la largeur des bandes, la vitesse du transport, la suspension sur ressorts plus ou moins parfaite, et l'inclinaison de la force de traction.

Nous devons faire remarquer que, presque toujours, l'effort de traction est en proportion avec les dégradations des chaussées : c'est une loi indiquée par la théorie et confirmée par l'expérience. Ainsi tout ce que l'auteur donne sur l'influence qu'ont, sur l'accroissement du tirage, les divers élémens qu'on vient d'énumérer, doit s'entendre également de la détérioration des routes.

Pour déterminer l'influence du diamètre des roues sur la force de traction, M. Morin a employé des affûts de siége et d'autres voitures, dont les roues ont varié en diamètre depuis $0^m,84$ jusqu'à $2^m,05$, c'est-à-dire au-delà des limites posées par l'usage pour le roulage et les messageries. Ses expériences, au nombre de 40, mettent suffisamment en évidence cette double loi, que le tirage est proportionnel à la charge et en raison inverse du diamètre des roues.

On peut remarquer que par des considérations théoriques, basées sur l'hypothèse que le sol de la route résiste en chaque point, en raison directe de l'enfoncement, on trouve que le tirage est proportionnel à la puissance $\frac{4}{3}$ du chargement, et en raison inverse de la puissance $\frac{2}{3}$ du diamètre des roues. Ces exposans diffèrent assez peu de l'unité qu'on doit leur substituer, d'après les expériences de M. Morin, pour ne pas donner de présomption défavorable aux résultats de ses observations.

Dans une autre série de quatre-vingt-dix-sept observations, l'auteur a eu pour but de mettre en évidence la largeur des bandes. Il montre que, lorsque la chaussée est un peu molle, le tirage diminue proportionnellement à l'accroissement de cette largeur. Sur cette nature de chaussée, la largeur des bandes n'a plus d'influence notable, quand elle a atteint $0^m,22$. Plus les routes deviennent solides, et moins la largeur de la bande a d'influence: elle cesse complètement d'en avoir sur les chaussées pavées; sur de bonnes routes en empierrement qui ne sont pas nouvellement rechargées, l'influence devient insensible quand la largeur de la bande est de neuf à dix centimètres. Comme les dégradations des routes sont en rapport direct avec le tirage, on en conclurait que, sur de bonnes chaussées, il n'est pas nécessaire de se servir de bandes de plus de dix centimètres de largeur.

Dans une série de cent soixante-huit expériences, M. Morin a très-bien établi que le tirage augmente proportionnellement aux

accroissemens de la vitesse. Pour des voitures dont la principale partie de la charge repose sur des ressorts, cet accroissement est faible, tandis qu'il est beaucoup plus fort pour des voitures non suspendues. Cette remarque pouvait faire prévoir ce que M. Morin a constaté directement par des expériences spéciales ; c'est qu'une voiture bien suspendue allant au trot, peut porter une charge égale à celle d'un chariot non suspendu allant au pas, sans occasionner plus de dégradations aux routes. M. Morin ne s'est pas contenté de tirer cette conséquence de ses observations sur la force de traction, il l'a établie par l'observation directe des dégradations produites sur les chaussées dans ces deux circonstances. Il a fait pour cela trois séries d'expériences sur des routes de différentes natures. Il a constaté les dégradations, d'abord en variant les diamètres des roues, et ensuite en augmentant la vitesse et en introduisant des ressorts. Il a trouvé, comme nous l'avons énoncé précédemment, les dégradations en rapport direct avec le tirage, et il a en outre bien constaté que l'accroissement de dégradation, qui résulte de la vitesse, était plus que compensé par l'introduction des ressorts, toutes choses égales d'ailleurs.

Dans un mémoire supplémentaire (*), M. Morin a montré, par de nouvelles expériences sur les chaussées, pavées comme les rues de Paris, que les conséquences précédentes devaient encore s'y appliquer, et il a remarqué que les anciennes observations de Rumford, sur ce pavé, conduisaient, bien qu'avec un moindre degré de précision, à la même proportionnalité entre les accroissemens de vitesse et de tirage.

Ce résumé des travaux de l'auteur montre qu'il a éclairci beaucoup de questions très-importantes. En lisant son mémoire, on y reconnaît cette manière exacte de procéder qu'on a déjà eu lieu

(*) Cette addition au mémoire principal a été intercalée dans le corps du travail lors de son impression.

de distinguer dans ses travaux précédens, et l'on acquiert une grande confiance dans les résultats de ses observations.

En conséquence vos commissaires, en exprimant le désir que M. Morin continue de trouver, dans l'appui du gouvernement, les moyens d'étendre ses expériences à des circonstances encore plus variées, vous proposent d'accorder votre approbation à son travail, et de décider qu'il sera imprimé dans le recueil des savans étrangers.

L'Académie adopte ces conclusions.

AVANT-PROPOS.

La question du tirage des voitures se lie à tant d'intérêts publics et privés, qu'elle a depuis long-temps occupé les ingénieurs et les savans, et l'on doit être étonné que déjà elle ne soit pas résolue d'une manière positive.

L'industrie particulière, sans règle et sans principe fixes pour la construction de ses voitures, n'apprécie pas, d'après une expérience éclairée, l'influence des dimensions des roues et celle d'une suspension plus ou moins parfaite. Suivant des habitudes locales, elle préfère dans un pays les charrettes à grandes roues aux chariots à quatre roues; dans d'autres le léger chariot des comtois avec ses quatre roues presqu'égales est exclusivement adopté, tandis qu'ailleurs on n'emploie que la lourde voiture à larges jantes et à petites roues de devant.

Sous le rapport de la conservation des routes les idées ne sont pas plus arrêtées, les auteurs et les ingénieurs qui ont écrit sur cette matière sont la plupart en divergence complète d'opinions. Les uns veulent laisser toute liberté à l'industrie pour charger ses voitures, d'autres, et c'est le plus grand nombre, pensent qu'il faut lui imposer des limites et des tarifs, dont la base à peu près uniforme est la largeur de la jante des roues. Quelques-uns enfin pensent qu'au-delà d'une limite assez peu élevée, il n'y a rien à gagner dans l'intérêt de la route à l'augmentation de la largeur des jantes.

Quant à la vitesse de transport, on la regarde en général comme nuisible aux routes, et l'on n'est pas d'accord sur l'influence préservatrice des ressorts, quoique l'on admette qu'elle diminue le tirage aux allures vives.

On reconnait que la grandeur du diamètre des roues a pour résultat de diminuer le tirage, mais on ne sait pas au juste dans quel rapport, et personne ne songe que l'avantage qu'elle peut procurer à la puissance motrice doit aussi profiter à la conservation des routes.

On se demande comment dans un pays qui possède un corps d'ingénieurs aussi habile et aussi pénétré de ses devoirs que la France, une question dont les élémens sont peu nombreux et peuvent être si facilement isolés les uns des autres pour être étudiés séparément, n'a pas encore reçu de solution.

La raison en est que jusqu'à ce jour on a attaché trop peu d'importance aux recherches à la fois expérimentales et scientifiques, qu'on n'a pas encouragé les hommes laborieux disposés à s'y livrer, et qu'on ne leur a presque jamais fourni libéralement les moyens d'exécution nécessaires; et cependant quels fonds seraient plus utilement employés que ceux que l'on consacrerait à des études sérieuses sur les routes, sur le roulage, sur les machines locomotives, sur la navigation, sur la poussée des terres et des voûtes, et sur une foule d'autres questions de physique mécanique, qui touchent de si près aux intérêts matériels et industriels du pays?

De tous les gouvernemens le nôtre est néanmoins celui qui encourage le plus les recherches scientifiques, et si les crédits législatifs lui laissaient plus de latitude, il est probable que des moyens d'exécution et des facilités plus étendus seraient accordés aux hommes d'étude.

Le ministère de la guerre a, depuis quelques années, favorisé de la manière la plus libérale, d'importantes recherches expérimentales dans lesquelles l'école d'application de l'artillerie et du génie a pris une large part. On lui doit déjà les belles expériences hydrauliques de MM. Poncelet et Lesbros, entreprises sur l'avis du comité du Génie ; depuis 1833, une commission d'officiers d'artillerie formée à Metz, a reçu, sur la proposition du comité de l'Artillerie, des moyens illimités pour l'exécution de vastes expériences sur les principales questions de physique mécanique qu'offre l'action de la poudre. Un habile officier du génie, professeur de constructions à l'école d'application, exécute en ce moment d'intéressantes recherches relatives à son art. Enfin depuis l'année 1831, où j'ai commencé une pre-

mière expérience sur le frottement, jusqu'à ce jour, les différens ministres de la guerre, sur l'avis du comité et du bureau de l'artillerie, m'ont donné des moyens d'exécution illimités. Jamais aucune entrave n'est venue m'arrêter, et j'ai obtenu en fonds, en matériel et en personnel, tout ce qui m'a été nécessaire pour l'exécution d'une expérience. C'est par de pareilles mesures que l'on attache un homme aux travaux dont on le charge. Aussi me suis-je entièrement dévoué à ces recherches, et si l'on trouve que je n'ai pas résolu la question sous tous les rapports, la faute n'en est pas du moins à mon zèle.

Je dois au surplus faire remarquer, qu'officier d'artillerie, professeur à l'école d'application, j'ai dû m'attacher plus particulièrement à la question proprement dite du tirage des voitures, qu'à ce qui concerne la conservation des routes, puisque le but spécial de mon travail était de fournir à la partie de l'enseignement dont je suis chargé, des données d'expérience qui lui manquaient.

Cette position particulière était au reste favorable pour une étude importante de certaines parties de la question, et surtout pour tout ce qui pouvait être relatif à la dégradation des routes. N'étant en effet sous l'empire d'aucune préoccupation d'état ni d'intérêt privé, n'apportant pas à la conservation des routes cet intérêt, en quelque sorte paternel, qui est dans le devoir de l'ingénieur des ponts-et-chaussées, et totalement désintéressé à l'augmentation ou à la diminution des chargemens, je n'avais d'opinion préalable ni même de prévisions sur aucun résultat. La vérité seule quelle qu'elle fût et les moyens de la constater m'intéressaient. Cette sorte d'indépendance morale est une circonstance heureuse dans de semblables recherches, car il est bien difficile de ne pas se laisser préoccuper malgré soi, par ses intérêts, ou par certaines conditions de position et, en parlant de cette tendance naturelle à l'homme, je n'entends en faire un sujet de blâme pour personne, car je serais loin de me croire plus exempt qu'un autre de cette influence, s'il s'agissait d'une question relative à mon état ou à mes études habituelles.

J'ai dit plus haut que les divers auteurs ou ingénieurs qui ont traité sous différens points de vue la question du tirage des voitures, étaient partagés d'opinion sur les objets principaux et, pour justifier cette assertion, en même temps que pour montrer quel était l'état de cette question au moment où je m'en suis occupé, il ne sera pas inutile de donner ici un résumé succinct des divers ouvrages qui ont été publiés sur cette matière.

M. Richard Lowell Edgeworth a inséré, en 1797, dans les transactions de l'académie royale d'Irlande, les résultats de ses expériences sur les véhicules à roues, et une seconde édition de cet ouvrage a été publiée en 1817, sous le titre de, *An essai on the construction of roads and carriages*.

Après quelques considérations préliminaires, l'auteur examine l'influence de la grandeur du diamètre des roues pour le passage des obstacles, et rapporte deux expériences qui confirment le résultat théorique connu, qui s'énonce, comme on sait, en disant que, *pour le passage des obstacles, la puissance des roues est proportionnelle à la racine quarrée de leur diamètre;* étendant cette conséquence aux terrains ordinaires, il en conclut, qu'entre les limites habituelles, il n'y a pas grand avantage à augmenter les diamètres des roues, et réduit le principal avantage des grandes roues à la facilité qu'elles donnent pour vaincre le frottement des essieux. Toutefois il établit ailleurs que c'est une erreur de regarder les petites roues comme préférables aux grandes dans les pays de montagnes, ainsi que le prétendaient alors quelques ingénieurs.

Relativement à la largeur des jantes, M. Edgeworth rapporte que, quand les actes du parlement eurent encouragé l'usage des jantes larges, en leur permettant des poids plus considérables qu'aux autres, les rouliers les adoptèrent, mais en donnant à la bande une forme convexe, de sorte que la roue en apparence à large jante, n'agissait réellement sur la route que comme une plus étroite.

Il démontre ensuite que les roues coniques ou à essieux inclinés, tendent, par l'inégalité de vitesse des différens points de la bande, à produire sur la route un glissement qui augmente la résistance et désagrège les matériaux. Ces conclusions sont confirmées par les expériences suivantes.

Tableau des expériences faites par M. Cumming, sur les roues coniques et cylindriques.

NUMÉROS des expériences d'après l'ordre dans lequel elles ont été faites.	CIRCONSTANCES dans lesquelles les expériences ont été faites, avec différentes sortes de voitures.	NOMBRE de poids nécessaire pour mettre la voiture en mouvement.	NOMBRE d'espèces dont la voiture avance après que le poids a cessé d'agir.
1	Les roues coniques posant sur toute leur largeur...	9	0 $\frac{1}{2}$
4	Les roues cylindriques *id.*...............	6	3 $\frac{1}{2}$
2	Les roues coniques posant sur un quart de leur largeur au milieu de la bande........................	6	1
5	Les roues cylindriques *id.* *id.*..........	6	2
3	Les roues coniques posant sur deux bandes étroites sur les bords de leur jante...	11	0
6	Les roues cylindriques *id.* *id.*..........	6	2 $\frac{1}{2}$

Nota. L'auteur n'indique ni l'unité de poids ni celle de longueur.

Tableau des expériences faites par M. Edgeworth, sur les roues coniques et cylindriques.

NUMÉROS.	TEMPS.	ESPACES ou longueur de la route.	DÉSIGNATION DES ROUTES, qui étaient toutes rendues exactement horizontales dans les deux sens.	POIDS de la voiture et de sa charge.	POIDS EMPLOYÉ avec des roues coniques de 8 pouces un quart de diamètre intérieur et 8 pouc. trois quarts de diamètre extér', et 4 pouces de larg. de bande.	POIDS EMPLOYÉ avec des roues cylindriques de 8 pouces et demi de diamètre et 4 pouces de largeur de bande.
1	10"	30pi	Route de planches de sapin polies.	60liv	3liv	2liv
2	10	30	Route en gravier légèrement tassée, semblable à une route de Hyde Park pendant l'été...........	60	6 $\frac{1}{2}$	6
3	10	30	La même route récemment ratissée comme une nouvelle route en gravier.....................	60	8	7
4	10	30	La même route avec de gros cailloux répandus à sa surface, comme une grande route neuve ordinaire..................	60	9	9

L'auteur conclut de ces expériences que l'on ne doit employer que des fusées et des roues cylindriques.

Plus loin, il établit que par rapport à la largeur de la jante des roues, on

peut, en général, affirmer que la roue la plus large est la plus avantageuse à la route et, qu'entre certaines limites, la roue la plus étroite est la meilleure pour le voiturier.

M. Edgeworth a fait aussi des expériences sur un plancher de niveau d'une longueur de 75 pieds anglais, sur lequel il avait fixé des liteaux pour former des obstacles au passage d'un petit modèle de voiture à roues en bois de 7 pouces de diamètre, avec des essieux en acier poli, dans le but de reconnaître l'influence de la suspension sur la diminution de la résistance aux allures vives.

Il conclut de l'ensemble de ces expériences que l'avantage des ressorts croît avec la vitesse et que la forme des ressorts n'est pas de grande conséquence, pourvu qu'ils soient suffisamment élastiques. Nous ferons remarquer en passant et nous montrerons plus loin que les résultats de ces expériences sur l'accroissement de la résistance en fonction de la vitesse, sont complétement d'accord avec les nôtres, mais qu'Edgeworth n'avait pas entrevu la loi simple qu'ils renferment.

Le même appareil lui a servi à examiner l'influence de la longueur et de la hauteur des voitures à deux trains sur la résistance, et il en conclut que « la différence en longueur ou hauteur, toutes choses égales d'ailleurs, a » peu d'influence sur la facilité plus ou moins grande de les traîner, » et que les voitures courtes n'ont d'autre avantage que d'être plus faciles à conduire dans les villes.

Toutes ces expériences ont été faites en petit, sur des modèles dont la construction différait notablement des voitures ordinaires et, quelle que soit la justesse des conclusions qu'il en avait tirées, l'auteur reconnaît bien qu'elles sont si différentes des opinions admises avant lui et de celles des hommes qu'il appelle assez plaisamment « cette race obstinée qui usurpe le titre » de praticiens » qu'il est indispensable de les répéter sur des voitures et des routes ordinaires.

Coulomb, pour l'exécution de ses expériences sur la raideur des cordes, a été conduit à en faire quelques-unes sur la résistance qu'éprouvent des rouleaux en bois sur un plan horizontal. De ces essais trop peu nombreux, puisqu'ils ne sont relatifs qu'à deux rouleaux de 2 pouces et de 6 pouces de diamètre, cet illustre physicien a conclu que la résistance au roulement est proportionnelle à la pression et inversement proportionnelle au rayon du rouleau.

Le comte de Rumford (*sir Benjamin Thompson*), a présenté à la première classe de l'Institut, le 15 avril 1811, un mémoire intitulé, ***Observations sur l'avantage d'employer les roues à larges jantes pour les voitures de voyage et de luxe.*** Ce travail est inséré dans la Revue Britannique, année 1816.

Ces expériences ont été faites avec une voiture de luxe suspendue, à laquelle on a adapté successivement trois paires de roues de devant et de derrière de largeurs différentes, mais à peu près de même diamètre.

Voici les données et dimensions fournies par l'auteur.

DIMENSIONS DES ROUES.		1res roues.			2es roues.			3es roues.		
		pi	po	li	pi	po	li	pi	po	li
Diamètre des roues	de devant	3	4	»	3	2	3	3	3	3
	de derrière	4	9	3	4	8	9	4	8	3
Largeur des cercles			1	9		2	3		4	
		livres.			livres.			livres.		
Poids des roues	de devant	224			174			240		
	de derrière	226			258			360		
Poids des roues		350			432			600		

La voiture avec son chargement a toujours pesé 2121 livres.

Les expériences ont été faites avec un peson à ressort et à aiguilles à différentes allures et sur diverses routes, les résultats en sont réunis dans le tableau suivant.

Expériences du comte de Rumford, sur l'influence de la largeur des jantes.

DÉSIGNATION de la route.	LARGEUR des jantes.		ALLURES auxquelles les résistances ont été observées.			
			Petit pas.	Grand pas.	Petit trot.	Grand trot.
	po	li	liv	liv	liv	liv
Grande route pavée de Versailles entre le pont de Sèvres, à Passy.	4	»	40 à 44	48 à 56	74 à 84	120 à 230
	2	3	44 à 48	56 à 60	84 à 96	130 à 140
	1	9	48 à 60	60 à 72	96 à 120	140 à 150
Sur l'accotement en un endroit où le chemin était bon et peu sablonneux.	4	»	76 à 84	80 à 84	80 à 88	80 à 88
	2	3	80 à 92	80 à 96	82 à 100	82 à 100
Sur le même accotement en un endroit un peu sablonneux.	4	»	92 à 100	»	100 à 110	»
	2	3	100 à 120	»	120 à 130	»
Sur le même accotement en un endroit plus sablonneux.	4	»	120 à 130	»	120 à 130	»
	2	3	125 à 135	»	180 à 200	»
Sur la même accotement en un endroit très-sablonneux.	4	»	160 à 180	»	160 à 180	»
	2	3	180 à 200	»	180 à 200	»
Beau chemin de Saint-Cloud.	4	»	72 à 80	»	80 à 84	»
	2	3	80 à 84	»	82 à 84	»
Même route sur des cailloux nouvellement placés.	»		200 à 240	»	»	»
	»		220 à 280	»	»	»
Sables profonds du bois de Boulogne.	»		240	»	»	»
	»		260 à 280	»	»	»
En montant la route pavée d'Anteuil.	»		140	»	»	»
	»		150	»	»	»

Ces expériences indiquent que, sur le pavé, la résistance diminue à mesure que la largeur de la jante augmente. Mais il faut observer qu'elles ont été faites avec des jantes dont les plus larges n'avaient que 4 pouces, ou $0^{m},11$ et les plus étroites 1 pouce 9 lignes, ou $0^{m},048$ et sur le pavé arrondi des environs de Paris, dont les grandes dimensions et les intervalles forment autant de petites ornières dans lesquelles les roues étroites glissent dans le sens de la longeur des essieux, outre qu'elles en choquent les bords dans le sens du mouvement. Cet effet est tout différent de celui que produisent les jantes larges sur les routes compressibles et l'augmentation de résistance éprouvée par les jantes étroites provient ici seulement des chocs plus fréquens et plus intenses qu'elles éprouvent, ainsi que le montrent les résultats

mêmes des expériences, où l'on voit l'avantage des jantes larges s'accroître avec la vitesse.

Les dimensions, la forme et le mode de pose du pavé exerçant ici une influence immédiate sur les résultats, on ne peut en appliquer les conséquences à des pavés qui seraient beaucoup plus serrés ou plus unis.

Quant aux expériences faites sur des terrains compressibles, elles semblent montrer que l'avantage des jantes larges sur les petites n'est pas très-grand quand le fond est solide.

Ce que ces expériences offrent de plus remarquable c'est qu'elles mettent en évidence l'accroissement de la résistance avec la vitesse sur les routes dures et sa constance sur les routes compressibles. Elles ont servi de base à presque tous les auteurs qui ont écrit sur cette matière et, chose singulière, aucun d'eux n'y a vu la véritable loi qu'elles manifestent, parce que tous préoccupés de certaines idées théoriques, adoptées à priori, en ont torturé les chiffres pour les faire cadrer avec des formules empyriques conformes à ces idées. Nous verrons plus loin que les résultats de ces expériences sont parfaitement d'accord avec ceux que j'ai obtenus.

M. de Gertsner professeur à l'institut technique des états de Bohême, a publié en 1813 un mémoire sur les grandes routes, les chemins de fer et les canaux, dont la traduction a été faite par M. Terquem, bibliothécaire du dépôt central de l'artillerie et publiée avec une introduction par M. Girard, membre de l'Institut.

L'auteur raisonnant d'après l'hypothèse que la réaction du terrain augmente proportionnellement à une certaine puissance de la profondeur, établit une théorie d'où il conclut :

1° Que la résistance provenant des ornières augmente dans un rapport plus grand que la charge, et qu'il est plus avantageux de partager la charge sur plusieurs voitures que d'en charger démesurément une seule ;

2° Que sur un terrain mou la résistance est plus considérable que sur un terrain dur; ce qui n'avait guère besoin d'être démontré ;

3° Que la résistance diminue lorsque le diamètre augmente ;

4° Que la résistance diminue par l'augmentation de la largeur des jantes.

Relativement aux routes dures sur lesquelles il y a des chocs il déduit de ses formules :

1° Que la partie de la force de traction provenant des chocs est proportionnelle à la charge ;

2° Qu'elle est proportionnelle au quarré de la vitesse ;

3° Qu'elle augmente en raison inverse de l'écartement du pavé, ou que plus l'éloignement des pavés est petit, plus le tirage est pénible.

Sans nous arrêter à discuter ces conséquences établies à l'aide d'hypothèses qui ne sont pas confirmées par l'expérience, nous ferons seulement remarquer que la dernière est évidemment fausse, et qu'il est étonnant que son énoncé seul ne l'ait pas fait paraître telle à un ingénieur aussi distingué que M. de Gertsner.

L'auteur établit ailleurs que : « les frais de transport sont diminués, tant » en pays de plaine qu'en pays de montagne, par des routes bien solides, » bien unies et par l'adoption de grandes roues. »

» Que la tangente de l'angle d'inclinaison du tirage pour les voitures de » roulage ordinaires doit être $\frac{1}{15}$ ou $\frac{1}{16}$ et qu'en général de petites roues et » de mauvaises routes exigent des traits plus élevés que de bonnes routes, » de grandes roues et des essieux bien tournés et bien graissés. »

M. de Gertsner discutant sous l'influence de ses idées théoriques les résultats des expériences du comte de Rumford en conclut que, sur les routes dures, la résistance au tirage croît comme le quarré de la vitesse et que sur les terres, le sable et les pierrailles, la résistance est indépendante de la vitesse.

M. Navier, ce savant illustre à qui l'art de l'ingénieur doit tant et de si utiles recherches, a publié en 1835 un mémoire intitulé, *Considérations sur les principes de la police du roulage et sur les travaux d'entretien des routes.* Dans ce travail il aborde la question avec la franchise de son caractère et la discute en adoptant pour principe que l'industrie des transports ne doit pas avoir toute liberté dans ses chargemens, et prend pour base unique des tarifs qu'on doit lui imposer la largeur de la jante de roue.

Il fait remarquer que, si ce principe est admis, le tarif du décret du 23 juin 1806, qui était alors le seul en vigueur, n'est pas exact. En effet, si l'on calcule d'après ce tarif les chargemens par centimètre de largeur de jante, on trouve les résultats suivans.

Tarif des chargemens fixé pour le roulage par le décret du 23 juin 1806, et pour les messageries, par la décision du directeur général des ponts et chaussées du 16 mai 1816.

LARGEUR des jantes.	VOITURES A DEUX ROUES. Chargement d'été. TOTAL.	VOITURES A DEUX ROUES. Chargement d'été. sur $0^m,01$.	VOITURES A DEUX ROUES. Chargement d'hiver. TOTAL.	VOITURES A DEUX ROUES. Chargement d'hiver. sur $0^m,01$.	VOITURES A QUATRE ROUES. Chargement d'été. TOTAL.	VOITURES A QUATRE ROUES. Chargement d'été. sur $0^m,01$.	VOITURES A QUATRE ROUES. Chargement d'hiver. TOTAL.	VOITURES A QUATRE ROUES. Chargement d'hiver. sur $0^m,01$.	CHARIOTS A VOIES INÉGALES. Chargement d'été. TOTAL.	CHARIOTS A VOIES INÉGALES. Chargement d'été. sur $0^m,01$.	CHARIOTS A VOIES INÉGALES. Chargement d'hiver. TOTAL.	CHARIOTS A VOIES INÉGALES. Chargement d'hiver. sur $0^m,01$.	MESSAGERIES. Chargement d'été et d'hiver. TOTAL.	MESSAGERIES. Chargement d'été et d'hiver. sur $0^m,01$.
m	kil	kil	kil	kil	kil	kil	kil	kil	kil	kil	kil	kil	kil	kil
0,08	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2560	80
0,11	2700	123	2200	100	4000	91	3300	75	4400	100	3700	84	3520	80
0,14	4100	146	3400	121	5700	102	4700	84	6200	111	5200	93	4480	80
0,17	5800	170	4800	141	8100	119	6700	99	8800	129	7400	109	5440	80
0,22	»	»	»	»	10500	119	8700	99	11400	129	9500	108	»	»
0,25	8200	164	6800	136	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

On voit en effet que ce tarif permet des chargemens bien plus forts à proportion aux roues de $0^m,17$ et surtout à celles des charrettes qu'à toutes les autres, et M. Navier attribue à cette différence l'usage presque général où sont les rouliers de Normandie de se servir de charrettes de $0^m,17$ de largeur de jantes, sans remarquer que ces voitures ayant de grandes roues, elles sont beaucoup plus faciles à tirer que les charrettes ordinaires à quatre roues.

Cet ingénieur trouve les chargemens permis aux roues de $0^m,17$ trop forts et propose pour le roulage un tarif uniforme basé sur la largeur de la jante, à raison de 120 kil. pour l'été et 100 kil. pour l'hiver, mais il réduit cette base à 80 kil. en toute saison pour les messageries.

Examinant ensuite l'influence de la vitesse sur la résistance au tirage et sur la dégradation des routes, il rappelle et soutient les conclusions de la commission d'ingénieurs, nommée le 31 juillet 1832, pour la préparation de la loi sur la police du roulage présentée en décembre de la même année, et par lesquelles, tout en admettant que l'emploi des ressorts doit contribuer à diminuer l'accroissement de la résistance et des dégradations provenant de l'augmentation de la vitesse, cette commission conclut que l'effet destructeur des chocs produits par les diligences allant au trot, est une fois et demie à une fois trois quarts plus grand que pour les voitures de roulage.

M. Brisson, inspecteur des ponts et chaussées, dans un rapport rédigé en

1828, avait dit précédemment que « la vitesse de la marche d'une voiture, avait pour la chaussée qu'elle parcourt, des conséquences différentes selon l'état de cette chaussée et il avait donné pour résultats des expériences faites en 1816, par une commission d'ingénieurs, les conséquences suivantes :

1° Sur les chaussées en empierrement ou en gravelage en bon état, une voiture menée au trot fait moins de mal qu'au pas. Elle en fait plus au contraire quand les chaussées sont en mauvais état. Nous verrons que dans tous les cas sur les routes en empierrement la résistance et par suite les dégradations croissent avec la vitesse, toutes choses étant égales d'ailleurs ;

2° Sur les chemins en pavés d'échantillon les effets immédiats du pas et du trot n'ont pu être distingués. Cependant le pas parait préférable en ce qu'il ne produit pas de fortes commotions, qui ébranlent et détériorent à la longue les chaussées les plus solides ;

3° Les chaussées pavées en blocage ou en pierres irrégulières, sont celles où le trot est le plus nuisible, relativement au pas.

Les conclusions de cette commission, auxquelles M. Navier parait donner son assentiment, sont qu'on ne doit pas admettre pour les voitures conduites au trot des poids aussi considérables que pour les voitures ordinaires de roulage, menées au pas; et dans une autre partie de ce rapport, on propose d'assimiler les diligences aux voitures de roulage allant au trot, malgré l'avantage des ressorts.

A la suite de son mémoire, M. Navier rapporte les résultats de l'enquête parlementaire faite en Angleterre en 1831, par la chambre des communes, relativement aux routes et ceux de l'interrogatoire des ingénieurs les plus consommés dans l'art de construire et d'entretenir les routes.

Parmi les sujets principaux qui font l'objet de cette investigation nous examinerons principalement ce qui concerne l'influence de la largeur des jantes et celle de la vitesse : quant à celle du diamètre des roues, il est remarquable qu'il n'en soit pour ainsi dire pas fait mention.

M. James Mac Adam, l'auteur du système de construction des routes qui porte son nom, s'exprime en ces termes :

« En ayant seulement égard à l'intérêt de la route, je préférerais une » roue de 4 pouces et demi, $0^m,114$, *à bandes plates*, à aucune autre espèce » de roues qui pût être faite, étant d'opinion qu'une bande de plus grande » largeur ne peut jamais toucher la surface d'une grande route bien faite. » Et il ajoute : « au-delà de cette limite je ne pense pas qu'aucune augmen- » tation de largeur fût utile. »

Le même ingénieur dit qu'il regarde la diligence telle qu'on la charge, comme la voiture qui fait le plus de mal aux routes, mais il faut observer qu'en Angleterre, ces voitures ont généralement des bandes de roues de $0^m,051$ à $0^m,060$ seulement et pèsent en tout environ 2031 kil., ce qui établit une charge moyenne de 100 à 85 kil. par centimètre de largeur de jante.

Il fait remarquer que des bandes arrondies ont sur la route le même effet que des bandes d'une largeur égale à celle de la partie restée plate.

M. J. Macneill interrogé sur la forme la plus convenable aux essieux, regarde les essieux cylindriques parfaitement rectilignes et les roues droites comme très-avantageux, parce qu'il n'y a pas de glissement sur le sol.

Il pense que l'usage des ressorts diminue le tirage, sans indiquer si cet avantage est aussi grand à toutes les vitesses.

Cet ingénieur propose le tarif suivant.

Tarif de chargement proposé au comité d'enquête de la chambre des communes par M. J. Macneill.

DÉSIGNATION des voitures.	VITESSES en lieues de 4000m à l'heure.	POIDS moyen.	LARGEUR des bandes.	PRESSION sur chaque roue.	PRESSION sur chaque centimètre de largeur.
	lieues	kil	m	kil	kil
Malles-postes.....	3,6 à 4,4	2031	0,057	508	89
Diligences	3,2 à 4,4	2539	0,051	635	125
Fourgons..	2,4 à 2,8	4570	0,064	1143	179
Chariots.........	1 à 1,2	6094	0,229	1524	67
Chariots.........	1 à 1,2	4570	0,152	1145	75
Chariots.........	1 à 1,2	3555	0,102	889	89

Ce tarif permet donc aux fourgons non suspendus ou beaucoup moins bien suspendus que les diligences et allant au trot, des chargemens bien plus forts qu'aux diligences et aux malles-postes.

Relativement à l'influence de la vitesse pour augmenter le tirage, M. J. Macneill donne une formule empyrique, pour représenter les résultats de ses expériences sur la route de Londres à Shressbury, cette formule indique une augmentation de la résistance proportionnelle à la vitesse. Mais d'après les valeurs qu'il indique pour le rapport de l'accroissement de la résistance à la vitesse, il s'ensuivrait que cette augmentation serait beaucoup plus considérable sur une route en empierrement que sur le pavé et croîtrait à

mesure que l'humidité et la boue rendraient le sol plus mou, ce qui est en désaccord complet avec les résultats que nous rapporterons plus loin. On verra ailleurs que les accroissemens de la résistance observés par cet ingénieur sur une route en empierrement, suivent la loi simple que j'ai déduite de l'expérience.

M. Coriolis, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a inséré dans les annales des ponts et chaussées plusieurs notices relatives aux routes et au tirage des voitures.

Dans l'une d'elles, en cherchant à apprécier directement l'influence du diamètre, de la largeur de jante et de la pression, sur le tirage, et partant de l'hypothèse que la résistance du sol est proportionnelle au degré de l'enfoncement, ce savant ingénieur arrive à une formule qui exprime que la résistance au tirage augmente plus rapidement que la pression, et qu'elle est en raison inverse de la puissance $\frac{2}{3}$ du rayon et de la puissance $\frac{1}{3}$ de la largeur de la bande.

Ces résultats déduits d'une hypothèse que l'auteur n'a admise que comme un moyen de se faire une idée approximative de la marche des effets, ne s'accordent pas tout à fait avec l'expérience, mais ils s'en rapprochent cependant assez, et l'on en pourrait tirer au moins ces conclusions, que l'influence de la grandeur du rayon pour la diminution de la résistance et par suite pour celle des dégradations, est beaucoup plus sensible que celle de la largeur de la bande de roue.

Relativement aux chaussées pavées, les mêmes considérations conduisent M. Coriolis à conclure que, sur les chaussées pavées, le travail consommé par le tirage diminue lorsqu'on augmente les dimensions des pavés. En cela nos conclusions sont d'accord avec celles de ce savant ingénieur, avec cette restriction, qu'il a sans doute implicitement admise, que le pavé serait mieux posé que celui de Paris et ne serait pas exposé par la largeur démesurée des joints à s'arrondir et à devenir une surface aussi inégale et aussi rabotteuse.

M. Dupuit, habile ingénieur des ponts et chaussées, a publié en 1837 un essai sur le tirage des voitures et sur le frottement de seconde espèce. Le travail de cet ingénieur est remarquable par l'esprit de méthode et d'observation que l'auteur y a développé et contient beaucoup de réflexions fort justes. Les expériences ont été faites avec un peson ordinaire à ressort et à cadran, les flexions étant indiquées par une aiguille dont les oscillations



continuelles rendent comme on sait l'observation très-difficile. Ce défaut de l'instrument me paraît une explication suffisante des différences qui se manifestent entre les résultats obtenus par ce savant ingénieur et ceux que m'ont donnés mes dynamomètres à style, dont il ne paraît pas qu'il connût alors la construction.

Quoique mes expériences attribuent à la grandeur du diamètre des roues, une influence plus grande que celle que M. Dupuit a conclue des siennes, il est néanmoins juste de reconnaître que, parmi les auteurs qui ont écrit sur cette matière, cet ingénieur est celui qui a le plus insisté sur l'importance de cette dimension pour la diminution du tirage.

M. Dupuit déduit de ses expériences les conséquences suivantes :

Le frottement de roulement est

Sur toutes les espèces de surfaces	Indépendant de la pente de la surface. Proportionnel à la pression. En raison inverse de la racine quarrée du diamètre.
Sur les surfaces unies, molles ou dures	Indépendant de la vitesse. *idem* de la largeur de la bande. *idem* de la suspension.
Sur les surfaces unies et molles	Diminué par le nombre de roues lorsque la voie est la même.
Sur les surfaces uniformément raboteuses	Augmenté par la vitesse pour les voitures non suspendues. Diminué par la suspension, d'autant plus que la vitesse est plus considérable. Diminué par la largeur de la bande jusqu'à une certaine limite dont on approche sans cesse. Indépendant du nombre de roues pour la voiture non suspendue (*résultat douteux*). Diminué par le nombre de roues pour la voiture suspendue (*résultat douteux*).

Le même ingénieur remarquant avec raison que les bandes de roue s'arrondissent promptement, montre par des exemples qu'au bout de quelque temps, des bandes de $0^m,17$, $0^m,14$ ou $0^m,11$, sont tellement déformées, que la

partie rectiligne de leur profil, est réduite à $0^m,06$ ou à $0^m,07$, et observant que, par suite de cette déformation, la portion comprimée de terrain se trouve extrêmement réduite, il arrive à cette conséquence que l'intérêt de la conservation de la route est presque étranger à la fixation de la largeur de la bande de roue.

Beaucoup d'autres ingénieurs ont écrit sur la construction, sur l'entretien des routes et sur les questions qui se rattachent à la police du roulage, mais sans s'occuper spécialement de celle du tirage des voitures, qui a fait l'objet principal de nos recherches; je ne crois pas en conséquence devoir analyser ici leurs opinions, comme je l'ai fait pour les travaux qui se rapprochent davantage du mien. En résumé l'on voit:

1° Que l'opinion dominante parmi les ingénieurs chargés de l'entretien des routes en France et en Angleterre est qu'il faut limiter les chargemens;

2° Qu'en France les ingénieurs des ponts et chaussées admettent en général que l'on doit prendre pour base du tarif la largeur des jantes, tandis que les ingénieurs anglais et quelques ingénieurs français, pensent qu'au-delà de $0^m,10$ à $0^m,12$ de largeur, tout accroissement est une surcharge inutile pour la voiture et sans profit pour la route;

3° Que la plupart des ingénieurs qui ont fait des expériences sur cette question, à l'exception de M. Dupuit, n'ont attaché que fort peu d'importance à la dimension du diamètre des roues, sous le rapport de la facilité qu'il peut procurer à la puissance motrice, et qu'aucun d'eux ne s'est occupé de l'influence de cette dimension sur la dégradation des routes;

4° Que la loi de l'accroissement de la résistance à mesure que la vitesse augmente, n'a pas encore été bien établie, quoiqu'elle fût implicitement exprimée par les résultats des expériences du comte de Rumford et par celles de M. J. Macneill;

5° Que, si l'on a reconnu que la suspension des voitures atténuait d'autant plus l'accroissement de la résistance correspondant à celui de la vitesse sur les routes dures, que les voitures étaient plus douces, on a en général négligé d'en tirer cette conclusion si naturelle, que les effets destructeurs produits sur les routes devraient suivre la même progression et qu'il pourrait par conséquent arriver que les voitures suspendues, mues rapidement, ne dégradassent pas plus les routes que les chariots non suspendus allant au pas *.

* M. Coriolis est à peu près le seul qui ait indiqué cette conséquence dans une note *sur les circonstances qui influent sur le tirage*, etc. Annales des ponts et chaussées.

Tel est aujourd'hui l'état de la question du tirage des voitures, et le point où la prend le Mémoire que j'ai présenté à l'Académie des Sciences.

Ce travail était projeté depuis long-temps; car les expériences dont il sera question dans ce Mémoire étaient l'objet principal que je me proposais d'étudier, lorsqu'en 1831 j'entrepris, sur le frottement, les recherches dont les résultats ont été présentés à l'Académie des Sciences, et imprimés, par son ordre, dans le Recueil des savans étrangers. Cette étude préliminaire du frottement de glissement, par l'étendue que j'ai été obligé de lui donner, a exigé plusieurs années, et, quel que fût mon désir d'étudier la question du tirage des voitures, il était indispensable que celle du frottement de glissement fût auparavant complètement résolue. En effet, on ne peut faire des expériences sur le tirage des voitures qu'avec des corps mobiles autour d'un axe de rotation, et, dans ce mouvement, il se produit toujours entre l'axe et ses boites un frottement de glissement dont il est indispensable de tenir compte.

En commençant, en 1831, par le frottement de glissement, je me proposais surtout de vérifier les lois trouvées par Coulomb, et ne m'attendais pas qu'il faudrait refaire en entier son travail sur des bases nouvelles et bien plus étendues. Une fois engagé dans cette recherche, j'ai dû la continuer jusqu'à la fin, pour la rendre complète, et l'appliquer à tous les cas qui peuvent se présenter dans la pratique des constructions de tous genres. Sentant l'utilité de la solution de cette question, je n'ai pas reculé devant l'immensité du travail qu'exigeait le relèvement détaillé de plus de 3000 courbes qu'il fallait développer et construire par points. Grâce aux moyens d'exécution qui m'ont été si libéralement fournis par le Ministre de la Guerre, je suis enfin parvenu, après quatre années, à terminer cette première partie, et, dès l'année 1835, j'ai pu commencer à m'occuper du frottement de roulement.

Pour en découvrir les lois, j'employai d'abord un appareil particulier que je décrirai plus tard, mais le relèvement et la discussion des expériences me montrèrent bientôt que, malgré tous mes soins et toute la précision des moyens d'observation, l'influence des masses mises en mouvement était telle que, dans tous les cas où la résistance était très-faible, il devenait impossible d'en apprécier la valeur avec exactitude par ce moyen. Je fus donc obligé de renoncer à l'employer et de recommencer une portion considérable de mon travail.

Ce n'est qu'en 1837 que j'ai pu reprendre cette étude par des moyens

nouveaux et en perfectionnant les instrumens, de manière à pouvoir opérer sur les grandes routes avec des voitures pesamment chargées, et dans toutes les circonstances ordinaires de la pratique. Des voitures à deux ou à quatre roues, des affûts et voitures d'artillerie, des diligences, des voitures de luxe, des camions, etc., ont été successivement employés aux expériences, et je crois avoir aujourd'hui passé en revue la plus grande partie des objets importans de la question du tirage des voitures.

J'ai déjà dit qu'à la demande du comité et du bureau de l'artillerie, MM. les Ministres de la Guerre avaient mis à ma disposition tous les moyens d'exécution nécessaires: je dois ajouter que MM. les généraux Duchand et Schouller, commandans de l'école d'artillerie de Metz, ont mis à ma disposition des canonniers et des chevaux, M. le colonel Bouteiller, directeur d'artillerie, m'a permis de faire construire mes appareils à l'arsenal, MM. les chefs d'escadron du train d'artillerie m'ont donné des hommes de choix pour la conduite des voitures. D'un autre côté, MM. Lemasson, ingénieur en chef des ponts et chaussées, Lejoindre et Plassiard, ingénieurs ordinaires, ont mis toute l'obligeance de l'amitié à me seconder, en laissant à ma disposition des portions de routes convenables; ils ont à diverses reprises assisté aux expériences et constaté leurs résultats; M. Plassiard, en particulier, ainsi que M. Boileau, lieutenant d'artillerie, m'ont secondé activement par leur coopération personnelle aux expériences. Enfin, l'administration des messageries générales de France, pénétrée de l'importance d'une solution exacte d'une question qui se rattache de si près à son industrie, n'a pas hésité à me prêter libéralement, à diverses reprises et pendant tout le temps nécessaire, une de ses voitures. Qu'il me soit permis de remercier publiquement tant d'hommes éclairés de ce concours libéral, aussi honorable pour ceux qui l'ont accordé que flatteur pour celui qui en a été l'objet.

En publiant ce travail au moment où la discussion de la loi sur la police du roulage va se rouvrir devant les chambres, j'ai pensé qu'il pouvait jeter quelque lumière nouvelle sur cette importante question. Je crois avoir établi les conclusions que je formule sur une saine discussion des données de l'expérience, mais je conserve entre mes mains, pour les produire, s'il y a lieu, tous les résultats immédiats qu'elle a fournis. Ils sont, littéralement parlant, *écrits par les chevaux sur le papier*, et sont ainsi autant de preuves matérielles à l'appui de l'exactitude de mon travail.

EXPÉRIENCES

SUR

LE TIRAGE DES VOITURES.

1. *Appareils employés aux expériences.* Les appareils employés ont varié suivant le genre et l'objet des expériences, et dans celles qui ont été faites en 1835 et 1836, par lesquelles je me proposais principalement d'étudier les lois de la résistance éprouvée par un corps cylindrique, qui roule sur une surface plane, en examinant séparément l'influence de la pression, du diamètre et de la largeur du cylindre, et celle de la vitesse, j'ai employé l'arbre en fonte qui m'avait servi précédemment aux expériences sur le frottement des tourillons. Sur cet arbre, parfaitement cylindrique, on plaçait à volonté des disques pleins, en fonte, tournés au diamètre exact de $0^m,787$, ou des poulies de $0^m,400$. En changeant le nombre des disques et des poulies, on pouvait faire varier la pression, la largeur des surfaces frottantes et le diamètre du rouleau.

Ce rouleau fut posé d'abord sur une surface horizontale formée de terre argileuse qui avait été battue, damée pendant très-long temps, comme une aire de grange, et mise parfaitement de niveau; ensuite sur une couche de

sable fin de la Moselle, puis sur de longues pierres bien dressées, sur des pièces de bois, sur des bandes de fer, de fonte, etc.

Dans le prolongement de l'axe longitudinal de ce banc était placée la poulie de renvoi, avec son plateau en cuivre et l'appareil chronométrique à style employés et décrits dans les expériences sur le frottement (*). Un cordon de soie, entouré et fixé par un bout, soit sur l'arbre même ou sur un des rouleaux, passait sur la poulie et soutenait à l'autre bout une caisse dans laquelle on plaçait un poids moteur.

Le rouleau, ramené à bras vers l'extrémité du banc la plus éloignée de la fosse, y était arrêté par un déclic, et, dès qu'on lâchait celui-ci, le poids moteur produisait le mouvement, dont la loi était tracée sur le plateau de la poulie par le style de l'appareil chronométrique.

Je ne crois pas devoir entrer dans plus de détails sur cet appareil, parce que son analogie avec celui qui a été employé aux expériences sur le frottement, est assez grande pour m'en dispenser. J'ajouterai seulement qu'en 1836 j'avais substitué au premier appareil chronométrique à style celui que j'avais plus tard fait construire pour les expériences de la Commission des principes du tir de l'Ecole de Metz, et qui donnait la loi graphique du mouvement avec beaucoup plus de précision.

Ce mode d'expérimentation était, comme on le voit, semblable à celui que Coulomb avait employé dans les expériences qu'il fit sur le frottement de roulement. Mais, quoiqu'il fût beaucoup plus précis, je reconnus bientôt, par le relèvement des courbes, que, dans tous les cas où les corps en contact sont durs et, par conséquent, la résistance très-faible, le moment d'inertie des masses, ainsi mises en mouvement, ayant toujours une très-grande valeur, comparativement à cette résistance, la moindre incertitude dans sa détermination, toujours fort délicate, entraînait des erreurs, telles qu'il était impossible de lier les résultats entr'eux d'une manière certaine, et qui ne laissât rien à l'arbitraire. Je fus donc obligé de renoncer à un travail de près d'une année, et de le recommencer sur nouveaux frais et avec d'autres moyens d'observation.

2. *Appareil avec arbre en fonte employé avec des chevaux.* Le même arbre en fonte, *aa*, Pl. I, Fig. 1 et 2, chargé de disques, a été disposé de la ma-

(*) Voyez le 1er et le 3e mémoire sur les nouvelles expériences sur le frottement faites à Metz en 1831 et 1832; chez Bachelier, libraire à Paris.

nière suivante pour les expériences à faire sur les charrettes avec des chevaux et sur différens terrains. Ses deux extrémités ont reçu de petits tourillons, *bb*, par lesquels il se liait à un cadre de traction, *ccdd*. Sur les deux côtés, *cd*, de ce cadre ont été fixés deux brancards, et sur la traverse antérieure, *cc*, on a placé un dynamomètre à style avec plateau tournant, ou à cylindres (*). Les chevaux s'attelaient à un palonnier mobile, et, afin que celui qui était dans le brancard ne fût pas chargé à dos ou en sens contraire, on équilibrait le brancard par des contrepoids en fonte, placés aux extrémités *d* des branches latérales du cadre.

Les disques étant centrés et tournés exactement, on pouvait, en en plaçant plusieurs l'un à côté de l'autre, avoir des jantes de différentes largeurs. Des boulons traversaient ces disques, ainsi réunis, et les tenaient rapprochés. Des clefs de calage les liaient à l'arbre, avec lequel ils tournaient. Outre ces grands disques on en pouvait placer de plus petits, destinés à faire varier la pression, sans changer la largeur et le diamètre des autres.

Pour faire aussi des expériences avec les roues ordinaires, on remplaçait les petits tourillons, *bb*, de l'arbre par des fusées d'essieu, qui s'engageaient par une portée cylindrique dans l'extrémité creuse de cet arbre, et qui recevaient des roues. L'ensemble de l'appareil restait le même, et le nombre de disques placés sur l'arbre déterminait la charge.

On voit que cet appareil constituait une véritable charrette, en équilibre autour de son axe de rotation.

3. *Appareil employé avec les voitures.* Quant aux expériences faites avec les diverses voitures, et qui constituent la plus grande partie de celles que nous avons exécutées, il a suffi de placer sur l'avant-train un des appareils dynamométriques décrits dans la notice citée, ce qui n'exigeait qu'un léger changement dans la ferrure propre à chaque voiture. Je me bornerai, en conséquence, à renvoyer à cette notice pour tout ce qui tient à ces appareils et à leur usage.

Il est cependant nécessaire de rappeler que ces instrumens se composent principalement de deux lames de ressort, construites de manière à prendre des flexions proportionnelles aux efforts auxquels elles sont soumises, et qu'un style, fixé à l'une des lames, laisse sur une feuille de papier une trace de tou-

(*) Voyez pour la disposition, la construction et l'usage de ces instrumens, la description des appareils chronométriques et dynamométriques par A. Morin, chez L. Mathias, libraire à Paris.

tes les flexions; que cette feuille, circulaire dans les premiers appareils, et en bande allongée dans les derniers, reçoit un mouvement qui est dans un rapport constant avec le chemin parcouru, et qu'alors l'aire comprise entre la courbe des flexions et une autre ligne qui représente le zéro des efforts, représente exactement la quantité d'action, ou de travail, développée, par le moteur.

Dans un autre appareil destiné à des expériences sur de grandes étendues de chemin à parcourir, on a substitué au style un compteur qui totalise la quantité de travail développée sur une étendue de chemin déterminée.

Ces deux genres d'appareils, employés dans des circonstances identiques, fournissent les mêmes résultats, ainsi qu'on le verra plus tard.

4. *Marche suivie pour étudier l'influence des différentes circonstances sur le tirage.* Les causes qui peuvent exercer, sur l'intensité du tirage et sur la destruction des routes, une influence régulière et notable qu'il s'agissait d'étudier et de constater, sont :

1° Le diamètre des roues ;

2° La largeur des bandes de roues ;

3° La vitesse de transport ;

4° L'inclinaison de la ligne de traction ;

5° La suspension ou l'élasticité plus ou moins parfaite du véhicule.

Pour montrer que nous avons procédé avec méthode dans l'examen de ces diverses influences, il ne sera pas superflu d'indiquer succinctement la marche qui a été suivie.

5. *Moyens employés pour reconnaître l'influence de la grandeur du diamètre des roues.* Pour reconnaître l'influence du diamètre des roues, nous avons fait varier cette dimension dans des limites très-étendues, et fait des expériences spéciales à ce sujet. Ainsi, avec le dispositif où l'arbre en fonte et sa charge, formant un rouleau ou une charrette, étaient tirés par des chevaux, on s'est servi des disques de $0^m,787$ de diamètre et de roues d'affût de 12 de campagne de $1^m,56$ de diamètre ; pour les voitures à quatre roues, on a monté un affût de 16 chargé de sa pièce sur des roues d'affût de place et côte, de $1^m,10$ de diamètre,

sur des roues d'affût de siège de $1^m,564$ de diamètre,

et sur des roues de triqueballe de $2^m,050$ id.

On a ensuite employé un camion, sur lequel on a réparti le chargement de diverses manières, en en laissant le poids total toujours le

même. Enfin on a fait marcher sur le pavé de Paris, un chariot des messageries générales, d'abord avec des roues de $0^m,84$ et $1^m,18$, puis avec d'autres roues de $1^m,18$ et $1^m,50$ de diamètre.

De plus, les expériences qui ont été faites sur toutes les autres voitures ont servi à confirmer, par leur accord, les résultats et les conséquences déduites de cette recherche directe de l'influence du diamètre.

6. *Dispositions prises pour reconnaître l'influence de la largeur des bandes de roues.* Les rapports qui existent entre l'intensité du tirage et la largeur de la jante ou de la bande de roue, ont été constatés à l'aide du dispositif décrit au n° 2, en plaçant successivement sur l'arbre en fonte, deux, quatre, six, huit, dix et même douze disques de $0^m,045$ d'épaisseur moyenne, ce qui donnait aux bandes des largeurs respectives de

$0^m,045$, $0^m,090$, $0^m,135$, $0^m,180$, $0^m,225$ et $0^m,280$,

et en le faisant rouler sur des terrains plus ou moins compressibles, tels que le sol du polygone de Metz, ramolli par la pluie, le sol du grand hangar de manœuvre de l'école d'application, nouvellement chargé d'une couche de $0^m,12$ à $0^m,15$ de sable mêlé de gravier, le chemin empierré en bon état, mais un peu humide, qui conduit aux batteries du polygone, et enfin des routes très-sèches et solides, ainsi que des chaussées pavées.

7. *Moyens employés pour reconnaître l'influence de la vitesse sur la quantité de travail consommée dans le transport.* La variation de la quantité d'action consommée par le tirage avec la vitesse de transport, a été étudiée avec les dispositifs décrits aux n°s 2 et 3, sur les différens terrains, sur les routes et sur le pavé, en faisant marcher les chevaux aux allures successives du petit pas, du pas allongé, du petit trot, du grand trot et quelquefois du galop.

L'emploi comparatif des voitures d'artillerie et des chariots non suspendus, et celui des voitures suspendues, a permis de reconnaître quelle était l'influence de la suspension plus ou moins parfaite sur l'intensité du tirage.

8. *Dispositif pour reconnaître l'influence de l'inclinaison du tirage.* Un dispositif fort simple a été adapté à l'avant-train d'un affût de siége, pour permettre de faire varier l'inclinaison du tirage dans des limites aussi étendues qu'il pouvait être nécessaire pour constater l'influence de cette cause.

9. *Moyens adoptés pour reconnaître l'influence de la suspension et de l'allure sur la dégradation des routes.* Enfin, quant à l'influence combinée de la suspension et de la vitesse sur la dégradation des routes, il a été fait deux séries spéciales d'expériences, d'abord avec une petite diligence et un chariot d'artillerie, et ensuite avec une diligence des messageries générales, pesamment chargée, et en la faisant passer un même nombre de fois au pas, comme voiture non suspendue ou chariot, par le calage complet des ressorts, sur une largeur de 300 mètres, puis au trot, comme voiture suspendue, en rendant la liberté aux ressorts, sur une autre longueur de 300 mètres. Ces deux longueurs égales avaient été choisies de concert avec les ingénieurs du département de la Moselle, sur le même côté de la route et signalées comme étant identiquement au même état à l'origine des expériences.

10. *Formules employées au calcul des résultats des expériences.* Avant d'entrer dans l'exposition détaillée des résultats des expériences, il est nécessaire d'établir les formules employées à les calculer dans les différens cas.

11. *Formule relative au dispositif avec l'arbre en fonte formant un rouleau ou unecharrette tirée par des chevaux.* Dans ce dispositif, si l'on nomme

R la résistance opposée par le sol au roulement, et rapportée à la circonférence du rouleau,

F l'effort exercé par les chevaux,

α l'angle que forme la direction de cet effort avec le sol,

i l'angle d'inclinaison du sol avec l'horizon, ce qui donne $\sin i = \frac{h}{L}$ égal à la pente par mètre courant (h étant la pente relative à la longueur parcourue, L),

P le poids de l'arbre et de sa charge,

$p = 80$ kilogrammes, ou 115 selon le cas (le poids du cadre de traction et du brancard),

$f = 0{,}05$ le rapport du frottement à la pression pour les axes et leurs coussinets (*),

r le rayon des rouleaux égal à $0^m{,}3935$ pour les disques en fonte, et à $0^m{,}791$ pour les roues de 12 de campagne,

(*) Cette valeur du rapport f a été adoptée dans le calcul de toutes les expériences, parce que l'on a toujours eu soin d'entretenir les boîtes de roues abondamment pourvues d'enduit, qui, par le mouvement, se répartissait sans cesse sur les surfaces. Voir le mémoire sur les nouvelles expériences sur le frottement des tourillons, faites à Metz, etc.

ρ le rayon des tourillons de l'arbre, égal à $0^m,0125$, quand il roulait sur les disques en fonte, et à $0^m,037$ pour les essieux de 12 de campagne,

on aura évidemment, dans le cas où le mouvement est parvenu à l'uniformité, ou au moins à la périodicité,

$$FL\cos\alpha = \pm (P+p)h + RL + \frac{f\rho}{r} L \sqrt{F^2 + p^2 - 2Fp\sin(\alpha + i)},$$

d'où l'on tire

$$R = F\cos\alpha \mp (P+p)\frac{h}{L} - \frac{f\rho}{r}\sqrt{F^2 + p^2 - 2Fp\sin(\alpha + i)}.$$

Il est facile de voir que, dans les limites d'exactitude que l'on peut espérer, et qui suffisent dans de pareilles expériences, et par suite aussi des proportions données à l'appareil, on peut toujours, sans erreur notable, négliger le dernier terme du second membre relatif au frottement des tourillons. En effet, ce terme acquiert évidemment sa valeur maximum quand $i = o$. De plus, on a, d'après la longueur des traits, la hauteur de la boucle d'attelage du collier et le diamètre des disques,

$$\text{Tang. } \alpha = \frac{0^m,811}{3^m,100} = 0,262, \quad \text{d'où} \quad \sin\alpha = 0,253 \quad \text{et} \quad \cos\alpha = 0,967,$$

$$\frac{f\rho}{r} = 0,0016,$$

et, si l'on suppose successivement des valeurs fort différentes à l'effort de traction F, on trouve pour

$$F = 50^{kil}, \quad \frac{f\rho}{r}\sqrt{F^2 + p^2 - 2Fp\sin\alpha} = 0^k,053 \quad \text{ou} \quad \frac{1}{94,5} \text{ de } F,$$

$$F = 200^{kil}, \quad \frac{f\rho}{r}\sqrt{F^2 + p^2 - 2Fp\sin\alpha} = 0^k,288 \quad \text{ou} \quad \frac{1}{69,5} \text{ de } F,$$

L'expression de la résistance R, opposée par le sol au roulement, peut donc être réduite, sans crainte d'erreur notable, à la formule très-simple :

$$R = 0,967\,F \mp (P+p)\frac{h}{L}$$

dans laquelle il suffira de substituer, pour chaque expérience, les valeurs correspondantes et données de P, p, h et L, et celle de F qu'on aura déduite du relèvement de la courbe tracée par le style du dynamomètre.

Pour le même appareil, avec des roues de 12 de campagne, on a

$$\text{Tang}\,\alpha = 0{,}1285, \qquad \sin\alpha = 0{,}127, \qquad \cos\alpha = 0{,}992,$$

par suite

$$R = 0{,}992\,F \mp (P + p)\,\frac{h}{L}$$

avec toute l'approximation nécessaire.

12. *Formule relative aux voitures à quatre roues.* Pour les voitures à quatre roues, en appelant

R' et R'' les résistances opposées, par le sol, au roulement, et respectivement rapportées à la circonférence extérieure des roues de devant et de derrière,

F l'effort exercé par les chevaux,

F' l'effort horizontal transmis par le train de devant au train de derrière,

i l'angle d'inclinaison du sol avec l'horizon,

α l'angle que forme la direction de cet effort avec le sol,

L la longueur du chemin parcouru,

h la pente totale sur cette longueur,

P le poids total de la voiture sans roues,

p' et p'' les poids respectifs des roues de devant et de derrière,

P' et P'' les composantes respectives du poids P sur l'essieu de devant et sur celui de derrière,

r' et r'' les rayons des roues de devant et de derrière,

$P_1 = P + p' + p''$, $P'_1 = P' + p'$, $P''_1 = P'' + p''$,

ρ' et ρ'' les rayons moyens des fusées des essieux de devant et de derrière,

$f = 0{,}05$ le rapport du frottement à la pression pour les essieux et leurs boites bien graissées,

la pression sur le sol sera pour les deux roues

$$\text{de devant} \quad (P' + p')\cos i = P'_1 \cos i,$$
$$\text{de derrière} \quad (P'' + p'')\cos i = P''_1 \cos i,$$

et il est facile de voir que, quand le mouvement sera parvenu à l'uniformité ou à la périodicité, on aura, autour de l'essieu de devant, la relation

$$F\cos\alpha\, L = R'L + F'L \pm (P' + p')\,h + \frac{f\rho'}{r'}\,L\sqrt{[P'_1 - F\sin(\alpha + i)]^2 + F\cos(\alpha + i)^2},$$

et autour de l'axe de l'essieu de derrière

$$F'L = R''L \pm (P'' + p'')\,h + \frac{f\rho''}{r''}\,L\sqrt{(F'\cos i)^2 + (P''_1 - F'\sin i)^2}.$$

13. *Simplification des formules pour le calcul des expériences.* En se servant ici du théorème de M. Poncelet, relatif aux valeurs approchées des radicaux de la forme $\sqrt{a^2+b^2}$, il serait facile de ramener ces équations à une forme rationnelle, puis d'éliminer entr'elles la quantité F′, de manière à n'avoir plus qu'une équation du premier degré; mais, pour l'application immédiate au calcul de nos expériences sur les voitures à quatre roues, qui ont toujours marché sur des routes à très-peu près horizontales, et où l'inclinaison des traits était fort petite, il est facile de voir d'abord que, sous les radicaux des termes relatifs au frottement des essieux, il sera toujours permis, sans crainte d'aucune erreur comparable à celles qui peuvent provenir des incertitudes mêmes de l'observation, non-seulement de supposer $\sin(\alpha+i)=0$ et $\cos(\alpha+i)=1$, mais même de négliger les efforts F et F′ vis-à-vis des pressions P′ et P″.

En effet, sur les routes où nous avons opéré, la valeur de $\sin(\alpha+i)$ n'a jamais dépassé et a très-rarement atteint 0,007 à 0,008, excepté sur le pavé de la rue Stanislas, et elle peut, par conséquent, être négligée, et $\cos(\alpha+i)$ supposé égal à l'unité. De plus, l'effort total F ne s'est jamais élevé au-delà de $\frac{1}{12}$ de la charge, ou de $\frac{1}{6}$ de celle de P′ de l'avant-train, en la supposant répartie également sur les deux trains, ce qui n'est presque jamais arrivé.

Or, d'après le théorème cité de M. Poncelet, la valeur approchée du radical, réduit à

$$\sqrt{P'^2+F^2},$$

serait, dans le cas très-défavorable où $F=\frac{1}{6}P'$ égale, à $\frac{1}{417}$ près, à

$$0{,}99757\,P'+0{,}09878\,F=1{,}01403\,P'.$$

La portion de l'effort F, exercé par les chevaux, employée à vaincre le frottement de l'essieu, serait donc égale à

$$\frac{f\rho'}{r'}\times 1{,}014\,P'=0{,}00283\,P';$$

attendu qu'on avait au plus $f=0{,}05$, $\rho'=0^{\text{m}}{,}0032$, $r'=0^{\text{m}}{,}575$. Mais en négligeant F sous le radical, la pression sur l'essieu se serait trouvée réduite à P′, et la portion de l'effort employée à vaincre le frottement de l'essieu de devant à

$$\frac{f\rho'}{r'}\cdot P'=0{,}00278\,P'.$$

La différence ou l'erreur dans la valeur du frottement provenant de cette

suppression serait donc de 0,00005 P' ou de 0,0003 F, dans le cas supposé de $F = \frac{1}{6}P'$, ou égale $\frac{1}{3333}$ de la valeur de F.

Or les différences de résistance, de vitesse, d'état de la route, ne nous permettent pas d'obtenir la valeur de F avec un degré d'approximation supérieur à $\frac{1}{50}$ ou $\frac{1}{40}$, et l'on voit que ce serait compliquer bien inutilement les calculs des expériences, que de tenir à l'emploi des formules plus rigoureuses que celle que l'on déduit de la suppression des termes F et F' sous les radicaux.

D'ailleurs, pour la deuxième équation l'erreur serait encore beaucoup moindre, attendu que F' n'est pas même la moitié de F, tandis que P'' est presque toujours supérieur à P'.

Enfin, ce que nous venons de dire pour le cas à peu près unique dans nos expériences se rapporte à celles qui ont été faites dans le sol du polygone de Metz, détrempé par la fonte des neiges de l'hiver, encore couvert d'eau en certains endroits, et où les roues enfonçaient de $0^m,08$ à $0^m,10$, sous une faible charge de moins de 700 kilogrammes par roue, et la conclusion précédente serait encore bien plus près de l'exactitude pour toutes les expériences faites sur les routes plus solides.

Nous sommes donc complètement autorisés par cette discussion à substituer aux deux équations précédentes les relations plus simples :

$$F \cos\alpha\, L = R'L + F'L \pm (P' + p')h + \frac{f\rho'}{r'} P'L \text{ pour l'essieu de devant,}$$

et

$$F'L = R''L \pm (P'' + p'')h + \frac{f\rho''}{r''} P''L \text{ pour celui de derrière.}$$

En les ajoutant membre à membre, elles se réduisent à l'expression

$$F \cos\alpha\, L = (R' + R'')L \pm (P + p' + p'')h + \frac{f\rho}{r'} P'L + \frac{f\rho''}{r''} P''L,$$

d'où l'on tire

$$(R' + R'') = F \cos\alpha \mp (P + p' + p'') \frac{h}{L} - \frac{f\rho'}{r'} P' - \frac{f\rho''}{r''} P''.$$

14. *Autres simplifications provenant des données des expériences.* Dans la plupart de nos expériences cette formule se simplifie encore, attendu que nous avons ordinairement $\cos\alpha = 1$, ou à peu près.

Lorsque la charge est également répartie entre les deux essieux, on a $P' = P''$, et si de plus on a $\rho' = \rho''$, et qu'on puisse prendre $\cos\alpha = 1$, ce qui

est le cas des expériences faites avec le chariot à munitions, la formule se réduit à

$$R' + R'' = F \mp (P + p' + p'') \frac{h}{L} - \frac{f\rho' P}{2} \left(\frac{1}{r'} + \frac{1}{r''} \right).$$

Pour l'affût de siége de 16 avec sa pièce, les quatre roues et les fusées d'essieux ayant toujours eu le même diamètre, on a $\rho' = \rho''$, $r' = r''$, et la formule devient

$$R' + R'' = F \mp (P + p' + p'') \frac{h}{L} - \frac{f\rho' P}{r'}.$$

Une autre simplification, qui s'applique à un très-grand nombre d'expériences, résulte de ce que l'on a fort souvent fait aller et revenir les voitures deux fois sur le même piste, de sorte que le terme $(P + p' + p'')\frac{h}{L}$ se compensait dans les deux expériences consécutives, et qu'en prenant la moyenne arithmétique des deux valeurs correspondantes de la résistance, on évitait la nécessité de niveler le terrain. C'est pourquoi l'on verra dans les tableaux un grand nombre d'expériences où la pente du terrain n'est pas indiquée.

15. *Observations relatives aux routes en pente.* Nous ferons remarquer toutefois que ce mode de calcul ne peut s'appliquer qu'aux pentes très-faibles, et dans lesquelles, à la descente, les chevaux ont à exercer un effort très-peu différent de celui qu'ils développent à la montée. Lorsqu'ils sont obligés de retenir, les inégalités du mouvement occasionnent des chocs et des pertes de force vive, qui ne permettent plus d'établir la compensation des effets de la pente, et qui sont d'autant plus grands qu'elle est plus rapide, et les chevaux moins bien dressés et conduits.

16. *Expression de la résistance au roulement à comparer aux résultats de l'expérience.* Dans les expressions précédentes, nous avons désigné par R la résistance au roulement rapportée à la circonférence extérieure de la roue. La valeur absolue de cette quantité nous sera fournie dans chaque cas, et, pour reconnaitre les lois auxquelles elle est soumise, on peut employer les constructions graphiques, ou faire sur ces lois quelqu'hypothèse dont on compare ensuite les conséquences avec les résultats de l'expérience même.

Nous nous servirons indifféremment de ces deux méthodes, et, pour reconnaître l'influence du rayon des roues sur la résistance, nous admettrons d'abord la loi que Coulomb avait donnée, comme conséquence de ses expé-

riences sur les rouleaux de bois d'orme et de gayac. On sait que ce célèbre physicien a conclu de ses recherches, trop peu nombreuses, que la résistance était proportionnelle à la pression, et en raison inverse des rayons des roues, ce qui revient à une expression de la forme

$$R = A\,\frac{P+p}{r},$$

dans laquelle on appelle

P la pression exercée par les roues normalement au sol,

p le poids des roues,

r le rayon de la roue,

A un coefficient constant pour une même largeur de bande et une même nature de terrain, et qui serait, en kilogrammes, la résistance pour une pression de 1 kilogramme et un rayon de 1 mètre.

Si la loi, trouvée par Coulomb pour les rouleaux en bois, est générale, et applicable aux corps plus mous et plus durs, on doit avoir pour un même sol, en faisant varier les diamètres des roues, une valeur constante pour la quantité

$$A = \frac{Rr}{P+p} = \frac{Rr}{P_1},$$

le poids P_1 et la largeur de la jante restant les mêmes.

S'il s'agit d'une voiture à quatre roues, en appliquant la même hypothèse, l'expression devient, en général,

$$A = \frac{R}{\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''}};$$

si la charge est également répartie sur les deux trains, on a

$$A = \frac{R}{\frac{P_1}{2}\left(\frac{1}{r'} + \frac{1}{r''}\right)}.$$

Enfin, si les quatre roues sont égales, on a

$$A = \frac{R \cdot 2r}{P_1}.$$

Ainsi dans les diverses expériences, qui auront pour objet de reconnaître

l'influence de la grandeur du diamètre sur la résistance, nous devrons calculer, par l'une ou l'autre de ces formules, la valeur du coefficient A, et si nous la trouvons constante pour un même sol, une même pression et une même largeur de bande, et pour des diamètres différens, nous serons fondés à conclure que la loi de Coulomb est générale, et que la résistance est en raison inverse du rayon de la roue.

Quant à l'influence de la largeur de la bande de roue, et de la vitesse, il faudra voir quelle est la marche des variations du coefficient A avec celle de chacun de ces élémens, en les étudiant séparément.

Après ces préliminaires, il ne nous reste plus qu'à exposer successivement les résultats des expériences, et à en déduire les conséquences.

Expériences sur l'influence du diamètre

Nos DES EXPÉRIENCES	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE parcourue.	DIAMÈTRE DES ROUES de devant.	DIAMÈTRE DES ROUES de derrière.	LARGEUR des jantes.	PRESSION sur le sol. P_1	PRESSION sur les essieux de devant. P'	PRESSION sur les essieux de derrière. P''	NOMBRE de chevaux.	ALLURE.
			m	m	m	m	kil	kil	kil		
1	Route de Metz à Thionville en bon état d'entretien, un peu humide, cailloux à fleur du sol humide.	Affût de siége de 16 avec sa pièce.	300	1,100	1,100	0,108	3865	»	»	2	Pas
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8	Même route un peu moins humide.	*Idem.*	480	1,564	1,564	0,100	3715	»	»	2	Pas
9			475				3715				
10			90				3650				
11			450				3650				
12			200				3650				
13	Même route humide.	*Idem.*	520	2,050	2,050	0,100	3990	»	»	2	Pas
14			420				3990				
15			520				3990				
16			75				3925				
17			460				3925				
18			450				3925				
19			430				3925				
20			430				3925				
21	Route de Thionville rechargée de $0^m,04$ à $0^m,05$ de gravier.	Affût de 16 avec sa pièce.	300	1,100	1,100	0,108	3865	»	»	4	Pas
22			300								
23			100								
24			100								
25	*Idem.*	*Idem.*	320	1,564	1,564	0,100	3715	»	»	4	Pas
26			320								
27			320								

es roues sur la résistance au roulement.

[T]ESSE. v	PENTE par mètre courant. $\frac{h}{a}$	EFFORT exercé par le moteur parallèlement au plan de la route.	EFFORT EMPLOYÉ à vaincre la gravité.	la frottement des essieux.	RÉSISTANCE au roulement. $R=\frac{AP}{r}$	VALEUR du coefficient. $A=\frac{Rr}{P}$	DONNÉES et formule employée.	OBSERVATIONS.
m	m	kil	kil	kil	kil			
1,35	0,0008	97,8	2,98	10,60	90,18	0,0128	$\rho'=\rho''=0^m,038.$ $\frac{P_1}{r'}=7030.$	Pour les expériences avec l'affût de siége, il n'est pas nécessaire de calculer P' et P''.
1,23	0,0025	117,0	9,81	10,60	96,59	0,0137		
1,37	0,0008	92,0	2,98	10,60	78,42	0,0112		
1,40	0,0021	119,8	7,90	10,60	100,50	0,0143		
1,25	0,0028	103,2	10,85	10,60	103,45	0,0147		
1,22	0,0009	98,4	3,44	10,60	91,24	0,0149		
1,25	0,0000	102,0	0,00	10,60	91,40	0,0130		
					Moyenne.	0,0134		
1,56	0,0006	58,8	2,30	7,25	53,85	0,0113	$\frac{P_1}{r'}=4670.$	
1,52	0,0006	67,2	2,30	7,25	57,65	0,0121	*Idem.*	
1,50	0,0012	69,1	4,53	7,10	56,53	0,0121	$\frac{P_1}{r'}=4667.$	
1,50	-0,0011	55,3	-3,53	7,10	52,23	0,0112		
1,50	.0,0000	54,8	0,00	7,10	47,70	0,0102		
					Moyenne.	0,0114		
1,48	0,0006	62,3	2,40	5,79	54,11	0,0137	$\frac{P_1}{r'}=3930.$	
1,49	0,0006	64,4	2,60	5,79	56,01	0,0142		
1,44	0,0007	63,6	2,88	5,79	54,93	0,0138		
1,18	0,0002	57,5	0,78	5,68	52,60	0,0136		
1,43	0,0010	62,8	3,92	5,68	53,20	0,0138		
1,41	0,0005	57,5	2,08	5,68	53,90	0,0139		
1,40	0,0007	55,2	2,75	5,68	52,09	0,0135		
1,40	0,00012	56,2	0,47	5,68	50,99	0,0132		
					Moyenne.	0,0132		
1,10	0,0025	341,0	9,59	10,60	320,91	0,0468	$\frac{P_1}{r'}=7030.$	Cette série d'expériences sur le gravier, a été exécutée la dernière des trois qui sont rapportées dans ce tableau et la couche de cailloux était devenue un peu moins épaisse sous les roues.
1,03	-0,0025	325,0	-9,59	10,60	323,99	0,0461		
1,06	0,0028	311,0	10,82	10,60	289,00	0,0411		
2,64	0,00235	344,0	9,12	10,60	324,28	0,0475		
					Moyenne.	0,0450		
1,47	-0,0025	232,0	-9,29	7,25	234,04	0,0494	$\frac{P_1}{r'}=4670.$	
2,64	-0,0022	234,0	-8,21	7,10	236,03	0,0516		
1,56	0,0022	237,2	8,21	7,10	220,97	0,0473		
					Moyenne.	0,0494		

Suite des *Expériences sur l'influence du diamètre*

N^{os} des expériences	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Diamètre des roues de devant.	Diamètre des roues de derrière.	Largeur des jantes.	Pression sur le sol. P_e	Pression sur les essieux de devant. P'	Pression sur les essieux de derrière. P''	Nombre de chevaux.	Allure.
			m	m	m	m	kil	kil	kil		
28 29 30 31	Route de Thionville rechargée de 0m,04 à 0m,05 de gravier.	Affût de 16 avec sa pièce.	320	2,030	2,030	0,100	3990	»	»	4	Pas
32 33 34	Sol du polygone de Metz ; gazon un peu humide.	Camion de meunier.	100	0,817	1,255	0,113	3373	1279	1742	4	Pas
35 36 37	*Idem.*	*Idem.*	100	0,817	1,255	0,113	3373	1057	1964	4	Pas
38 39 40	*Idem.*	*Idem.*	100	0,817	1,255	0,113	3373	2301	720	4	Pas
41 42	Pavé en grès de Fontainebleau de la rue Stanislas, à Paris, en bon état.	Chariot des messageries générales suspendu sur six ressorts.	213	0,840	1,180	0,080	3145	1353,7	1582,2	2	Pas
43 44			213	1,180	1,500	0,080	3355,9	1353,7	1582,2	2	Pas

des roues sur la résistance au roulement.

VITESSE. V	PENTE par mètre courant. $\frac{h}{L}$	EFFORT exercé par le moteur parallèlement au plan de la route.	EFFORT EMPLOYÉ à vaincre la gravité.	EFFORT EMPLOYÉ à vaincre le frottement des essieux.	RÉSISTANCE au roulement. R	VALEUR du coefficient. A	DONNÉES et formule employée.	OBSERVATIONS.
m	m	kil	kil	kil	kil			
1,41	0,0025	188,4	9,81	5,68	192,5	0,0498	$\frac{P_1}{r} = 3930.$	
1,12	0,0025	213,5	9,81	5,68	198,0	0,0512		
1,24	0,0025	202,0	9,81	5,68	186,1	0,0472		
1,14	0,0025	206,2	9,81	5,68	190,7	0,0493		
					Moyenne.	0,0494		
0,87	»	163,3	»	11,80	151,5	0,0255	$\cos\alpha = 0,912$, $\rho' = 0^m,0265$, $\rho'' = 0^m,0310$	
0,87	»	157,5	»	11,80	145,7	0,0245	$\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r'} = 5938.$	
1,10	»	159,0	»	11,80	147,2	0,0248		
					Moyenne.	0,0249	$p' = 138^k$, $p'' = 214^k$.	
1,11	»	157,0	»	11,60	145,4	0,0255	$\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''} = 5720.$	
1,16	»	147,5	»	11,60	135,9	0,0238		
1,16	»	146,5	»	11,60	134,9	0,0236		
					Moyenne.	0,0234		
1,02	»	198,5	»	12,90	185,6	0,0273	$\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''} = 6798.$	
1,06	»	211,0	»	12,90	198,1	0,0291		
1,02	»	201,0	»	12,90	188,1	0,0277		
					Moyenne.	0,0280		
1,24	0,01856	144	58,87	9,13	76,6	0,0116	$\rho' = \rho'' = 0^m,031.$ $\cos\alpha = 0,975.$	
1,45	0,01856	146	58,37	9,13	78,5	0,0119	$\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''} = 6604,6.$	
					Moyenne.	0,0117	$p' = 148^k$, $p'' = 205^k$.	
1,05	0,01856	133	69,23	6,81	57,0	0,0113	$p' = 205^k$, $p'' = 148^k$.	
1,15	0,01856	135	69,23	6,81	59,0	0,0117	$\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''} = 5038^k.$	
					Moyenne.	0,0115		

17. *Examen des résultats contenus dans le tableau précédent.* Les expériences, dont les résultats sont consignés dans le tableau précédent, ont été spécialement entreprises pour mettre en évidence l'influence du diamètre des roues sur la résistance au roulement, et la largeur des jantes ayant été

toujours la même pour la même voiture, on voit par la constance des valeurs du rapport

$$A = \frac{Rr}{P_{\prime}}$$

pour l'affût de siége à roues égales, ou

$$A = \frac{R}{\frac{P'}{r'} + \frac{P''}{r''}}$$

pour le camion à roues inégales, et pour le chariot des messageries dont on a changé les roues, que la résistance R est exactement en raison inverse des rayons des roues.

On voit de plus que cette conséquence est aussi exacte pour les terrains compressibles et mous, que pour le pavé, le sol dur et résistant des routes en empierrement, et pour celui des routes du même genre rechargées de gravier sur une épaisseur de $0^m,04$ à $0^m,05$.

L'avant-dernière série faite avec un camion, dont les roues de devant n'avaient que $0^m,817$ de diamètre, et celles de derrière $1^m,255$, et dans laquelle la charge est restée la même, mais où l'on a fait varier sa répartition sur les essieux, montre combien il est avantageux de reporter la charge sur les roues de derrière, ordinairement les plus grandes.

On remarquera de plus que la première et la deuxième série des expériences faites avec le camion, donnent la même valeur pour le coefficient A, quoique dans le premier cas la charge sur l'avant-train ait été plus grande que dans le second, ce qui ne semble pas confirmer l'opinion adoptée par quelques ingénieurs que les roues de derrière éprouvent à proportion moins de résistance de la part du sol que celles de devant qui ouvrent l'ornière. Quant à la troisième série, où la charge de l'avant-train était beaucoup plus forte que celle du train de derrière, si elle indique une légère augmentation, on ne doit pas en tirer une conclusion contraire à la précédente, parce qu'il faut observer que, dans ce cas, l'ornière des roues de devant, par suite de leur grande surcharge, était bien plus profonde que celle qu'aurait produite la roue de derrière sous sa charge propre.

Au surplus, les différences sont si faibles, même pour le cas actuel où elles auraient dû, par suite de la mollesse du terrain, acquérir leurs plus grandes valeurs, qu'on doit, il me semble, en conclure simplement que la résistance est en raison inverse du diamètre, et que la valeur de A est la même pour les deux trains.

18. *La résistance est proportionnelle à la pression.* Les expériences contenues dans le tableau précédent montrent aussi que la résistance est proportionnelle à la pression, car les premières séries, faites avec une voiture dont le poids était d'ailleurs à peu près le même, tandis que ses roues seules variaient, ayant donné une valeur constante pour le coefficieut A, la loi de la proportion inverse des diamètres se trouve établie par ces séries, tandis que celles qui ont été faites avec le camion, et dans lesquelles la pression sur chaque train a varié, lorsque leurs diamètres restaient les mêmes, ont non-seulement confirmé cette première loi, mais encore montré celle de la proportionnalité de la résistance à la pression.

Nous retrouverons d'ailleurs plus tard d'autres vérifications de cette loi.

19. *Autre vérification de ces conséquences par l'examen général des expériences faites avec diverses voitures.* Les conséquences que nous venons de déduire de ces expériences, seront encore vérifiées par toutes les autres expériences qui seront rapportées plus loin, et qui ont été faites sur des voitures de différens genres, par l'accord de toutes les valeurs que l'on en déduira pour le coefficient A, quand les autres circonstances seront d'ailleurs les mêmes, ainsi que nous le ferons observer en son lieu.

20. *Conclusion de cette série d'expériences.* Nous devons donc admettre, comme une loi démontrée par l'observation,

Que la résistance qu'un corps cylindrique éprouve, en roulant sur une route pavée ou empierrée, ou sur un terrain mou, est

1° *Proportionnelle à la pression,*

2° *En raison inverse du rayon de la roue.*

Cette vérification de la loi, que Coulomb avait déduite des expériences qu'il avait faites sur deux rouleaux de bois d'orme et de gayac, et son extension aux différens sols, est en contradiction avec les conséquences que d'habiles ingénieurs ont tirées, soit de considérations directes, soit de leurs expériences. Mais nous devons faire remarquer que jusqu'ici les instrumens employés pour les observations ont été si imparfaits, et leurs indications, fournies par des aiguilles mobiles, si incertaines, qu'il est impossible d'en déduire des conclusions positives (*).

(*) M. Piobert, chef d'escadron d'artillerie, a fait aussi, en 1821, à Toulouse, avec un appareil analogue à celui qui a été proposé par Edgeworth, quelques expériences et sur les terrains mous et compressibles il a trouvé, comme moi, que la résistance est inversement proportionnelle au diamètre des roues; mais sur un chemin de halage en terre ferme et légèrement ondulé, il a remarqué que

Les conséquences de cette loi sont d'une grande importance dans le tirage des voitures, car il est évident qu'il y a un très-grand avantage à augmenter les diamètres des roues, pour diminuer la fatigue des moteurs employés aux transports.

21. *Expression du rapport du tirage à la charge.* Avant d'aller plus loin, nous ferons remarquer qu'il resulte de cette loi que, pour rendre le même le tirage des deux trains, il faut répartir la charge de manière que l'on ait

$$\frac{P'+p'}{r'}=\frac{P''+p''}{r''}.$$

Mais si l'on observe que les dimensions des jantes sont ordinairement les mêmes pour les deux trains, on a à très-peu près $\frac{p'}{r'}=\frac{p''}{r''}$, cette condition se réduit à

$$\frac{P'}{r'}=\frac{P''}{r''},$$

et comme on a aussi, d'après la notation $P'+P''=P$, en combinant ces relations avec l'expression de la résistance totale au tirage que nous désignerons par T, elle devient pour ce cas et sur un terrain horizontal

$$T=(A+f\rho)\frac{2P}{r'+r''}+A\left(\frac{p'}{r'}+\frac{p''}{r''}\right).$$

Si l'on veut rechercher le rapport de cette résistance totale à la charge totale, $P+p'+p''=P_1$ pour un terrain et une valeur de A donnés, on a

$$\frac{T}{P_1}=\frac{A+f\rho}{r'+r''}\frac{2P}{P_1}+\frac{A\left(\frac{p'}{r'}+\frac{p''}{r''}\right)}{P_1}.$$

Dans les applications aux voitures pesamment chargées, qu'il est le plus important de considérer, le poids des roues n'est qu'une fraction assez petite de la charge et du poids propre du corps de la voiture, et peut être négligé, ce qui réduit ce rapport à

$$\frac{T}{P_1}=\frac{2(A+f\rho)}{r'+r''}.$$

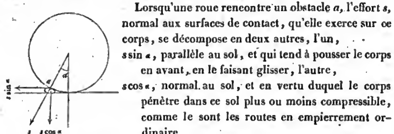
Cette expression fait voir que, dans le cas de la répartition supposée de la

cette résistance n'était plus qu'inversement proportionnelle à la racine quarrée des diamètres. Cette exception tient-elle à quelques circonstances particulières au sol? c'est ce que j'ignore, et je me bornerai à dire, qu'ayant opéré dans des limites de dimensions des roues bien plus écartées, et sur une plus grande variété de terrains, je n'ai jamais rencontré de cas où la loi que j'ai conclue plus haut n'ait été vérifiée.

charge, le rapport du tirage à cette charge décroît avec A, f et ρ, et en raison inverse de la somme des rayons.

Nous comparerons plus tard les diverses voitures sous le rapport précédent, en admettant que pour celles dont les roues ont des rayons différens, la charge soit répartie, comme nous l'avons supposé ci-dessus.

22. *De l'influence du diamètre des roues sur la dégradation des routes.* Mais, s'il convient, d'après ce qui précède, dans la construction des voitures, de donner aux roues le plus grand diamètre possible pour diminuer le tirage, il en est encore de même sous le rapport de la dégradation des routes, ainsi que le montrent les observations directes suivantes et le raisonnement.



Lorsqu'une roue rencontre un obstacle a, l'effort s, normal aux surfaces de contact, qu'elle exerce sur ce corps, se décompose en deux autres, l'un, $s \sin \alpha$, parallèle au sol, et qui tend à pousser le corps en avant, en le faisant glisser, l'autre, $s \cos \alpha$, normal au sol, et en vertu duquel le corps pénètre dans ce sol plus ou moins compressible, comme le sont les routes en empierrement ordinaire.

Si le sol était assez solide pour que la compression n'y fût pas sensible, le corps a, retenu en place par le frottement

$$fs \cos \alpha,$$

qui se produit par suite de la pression, ne glisserait que quand on aurait

$$s \sin \alpha = fs \cos \alpha \quad \text{ou} \quad \tang \alpha = f,$$

comme on le sait.

Mais, sur les routes ordinaires, le glissement des obstacles se produit avant que l'angle α ait acquis la limite indiquée par cette relation, attendu que le sol cédant à la pression normale $s \cos \alpha$, l'obstacle, ordinairement offert par un caillou arrondi, s'enfonce un peu, et tend à glisser suivant le plan ou la surface inclinée qu'il forme par sa partie postérieure, et à pousser, en la désagrégeant, la portion du sol qui est en avant de sa partie antérieure.

Cet effet destructeur que la roue tend à produire quand elle rencontre un obstacle, croît d'ailleurs avec l'angle α, et est, par conséquent, d'autant plus sensible que le diamètre de la roue est plus petit et l'obstacle plus gros.

Le raisonnement, qui précède, s'applique également aux effets produits

par une roue sur un sol uni qu'elle comprime, en s'y enfonçant, car il est évident que chacun des élémens qu'elle presse, en exerçant sur lui une action s dirigée suivant le rayon, peut être considéré comme sollicité par deux forces, l'une $s \sin \alpha$, qui tend à le pousser en avant et par conséquent à désagréger les parties antérieures du sol, l'autre $s \cos \alpha$ qui le presse, pour l'enfoncer au niveau du bas de la roue. Et il est encore évident ici que la composante $s \cos \alpha$, qui tend à désagréger le sol, sera d'autant plus grande que le rayon de la roue sera plus petit.

23. *Expériences sur le mode d'action des roues sur les routes.* Ces considérations directes sont pleinement confirmées par l'observation, ainsi que le montrent les expériences suivantes. On a pris, sur la route de Nancy et dans les tas de matériaux destinés à son entretien, des cailloux de $0^m,020$ à $0^m,022$, de $0^m,025$ à $0^m,030$, de $0^m,045$ à $0^m,050$ et on les a placés sur la piste d'une diligence des messageries générales, pesant en tout 4402 kilogrammes, en les mettant successivement en avant des petites ou des grandes roues, et l'on a constamment observé les faits suivans :

Les cailloux de $0^m,020$ à $0^m,022$ de grosseur, placés sur une partie solide, mais un peu compressible de la route, ont tous été cassés par l'une et par l'autre roue, et enfoncés dans le sol, sans avoir été déplacés.

Parmi les cailloux de $0^m,025$ à $0^m,030$ en quartz, un quart ou un cinquième seulement a été cassé, et tous ceux qui avaient été placés devant les petites roues ont été déplacés et poussés en avant de $0^m,020$ à $0^m,050$, tandis que ceux qui avaient été mis devant les grandes n'ont pas changé de place.

Les cailloux en quartz ou en porphyre de $0^m,045$ à $0^m,050$, n'ont pas été brisés sous cette charge, et tous ceux qui étaient devant les roues de devant ont été poussés en avant de $0^m,050$ à $0^m,100$ et, en avançant ainsi, tout en s'enfonçant partiellement dans le sol, ils ont désagrégé en avant d'eux une étendue de terrain de $0^m,10$ à $0^m,15$ de rayon. Au contraire, les cailloux placés devant les grandes roues ont été simplement enfoncés en partie dans le sol, et la voiture a passé par dessus sans les faire glisser en avant.

Les mêmes observations ont été répétées sur la partie la plus solide et la mieux entretenue de la route. Les cailloux roulés de porphyre, de granit, de quartz de $0^m,023$ à $0^m,030$ de grosseur, ont été presque tous

broyés par le passage de la voiture; ceux qui ne l'étaient pas n'étaient poussés en avant que quand ils étaient placés devant les petites roues. Les cailloux de 0^m,045 à 0^m,050, en granit ou en porphyre, roulés, ont été tous brisés, ceux de quartz l'ont été très-souvent. Tous ceux qui étaient devant les petites roues ont toujours été poussés en avant, tandis que ceux qui étaient devant les grandes roues ne l'ont presque jamais été.

Il résulte de ces observations, qui ont été répétées à plusieurs reprises en présence des ingénieurs des ponts et chaussées du département de la Moselle, une confirmation complète des considérations directes du n° 22, et l'on doit en conséquence regarder comme établi à la fois par le raisonnement et par l'expérience, que

Les effets de destruction produits par les roues des voitures sont d'autant plus grands que les diamètres sont plus petits.

Si, de plus, on remarque que, quand une roue marche sur une route, la somme des composantes horizontales $s \cos \alpha$, exercées sur tous les élémens du sol pour le désagréger, est égale et contraire à la résistance même que le moteur doit vaincre, ou à l'effort qu'il doit transmettre à l'essieu pour faire vaincre la résistance du sol, on en conclura que sur les terrains homogènes *l'effort exercé par une roue pour désagréger une route ou la détériorer, doit être aussi à peu près en raison inverse de son diamètre.*

Ainsi, sous le rapport de conservation des routes, comme sous celui de la diminution du tirage, il est d'une grande importance d'employer les roues du plus grand diamètre possible. L'intérêt public et l'intérêt particulier sont donc ici d'accord.

Nous fournirons plus tard, par d'autres observations, une autre confirmation des raisonnemens et des faits précédens. Mais auparavant, il convient d'exposer les résultats des expériences faites dans le but spécial de reconnaître l'influence de la largeur des jantes et celle de la vitesse du mouvement sur la résistance au roulement.

24. *Expériences sur l'influence de la largeur des jantes.* Ainsi qu'on l'a vu au N° 6, on a employé, pour reconnaître l'influence de la largeur des jantes, l'appareil avec arbre en fonte que l'on chargeait de disques de 0^m,045 d'épaisseur joints les uns contre les autres, de manière à former des jantes de diverses largeurs. Ces expériences ont été faites sur des sols de diverses natures, et dont la compressibilité a varié entre des limites qui comprennent à peu près tous les cas de la pratique.

Expériences sur l'influence

N°s des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture ou appareil employé.	Distance parcourue.	Diamètre des roues.	Largeur des jantes.	Pression sur le sol. P+p	Pression sur les roues. p	Nombre de chevaux.	Allure.
			m	m	m	kil	kil		
1, 2, 3, 4	Sol de la salle de manœuvres de l'école d'application de l'artillerie et du génie à Metz, nouvellement rechargé de sable mêlé de gravier, sur une épaisseur de $0^m,12$ à $0^m,15$.	Appareil avec orbre en fonte décrit au n° 2.	32	0,787	0,045	1045,6	115,2	2	pas.
5, 6, 7	*Idem.*	*Idem.*	32	0,787	0,090	1335,0	115,2	2	pas.
8, 9, 10, 11, 12	*Idem.*	*Idem.*	32	0,787	0,135	1441,1	115,2	2	pas.
13, 14, 15, 16, 17, 18	*Idem.*	*Idem.*	32	0,787	0,185	1380,0	115,2	2	pas.
19, 20, 21, 22, 23, 24	*Idem.*	*Idem.*	32	0,787	0,225	1664,5	115,2	2	pas.

de la largeur des jantes.

VITESSE.	PENTE du terrain par mètre courant. $\frac{h}{L}$	EFFORT exercé par le moteur parallèlem^t au plan de la route. F	EFFORT employé à vaincre la gravité.	RÉSISTANCE au roulement. R	VALEUR du coefficient. A	DONNÉES et formule employée.	OBSERVATIONS.
m	m	kil	kil	kil			
1,40	»	247,5	»	247,5	0,0931	$R = 0{,}967\,F.$	Pl. I, fig. 3.
		261,0		261,0	0,0988	$\frac{h}{L} = 0.$	
		244,5		244,5	0,0920		
		258,0		258,0	0,0965		
				Moyenne.	0,0950		
1,40	»	265,0	»	265,0	0,0780	*Idem.*	
		267,0		267,0	0,0788		
		270,0		270,0	0,0795		
				Moyenne.	0,0791		
1,40	»	279,5	»	279,5	0,0762	*Idem.*	
		261,0		261,0	0,0712		
		274,0		274,0	0,0748		
		265,0		265,0	0,0725		
		274,0		274,0	0,0748		
				Moyenne.	0,0740		
1,40	»	218,5	»	218,5	0,0623	*Idem.*	
		230,0		230,0	0,0658		
		216,0		216,0	0,0618		
		223,0		223,0	0,0637		
		219,5		219,5	0,0625		
		221,0		221,0	0,0630		
				Moyenne.	0,0630		
1,40	»	255,0	»	255,0	0,0602	*Idem.*	
		262,0		262,0	0,0620		
		268,5		268,5	0,0635		
		258,0		258,0	0,0610		
		255,0		255,0	0,0602		
		257,5		257,5	0,0608		
				Moyenne.	0,0612		

Suite des *Expériences sur l'in*

N°s des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture ou appareil employé.	Distance parcourue.	Diamètre des roues.	Largeur des jantes.	Pression sur le sol. $P+p$	Pression sur les essieux. p	Nombre de chevaux.	Allure.
			m	m	m	kil	kil		
25 26 27 28 29 30	Sol du polygone de Metz, devant les batteries de siége, gazon humide et un peu mou.	Même appareil.	150	0,787	0,045	1042,0	115,2	4	Pas
31 32 33 34 35	*Idem.*	*Idem.*	150	0,787	0,090	1335,0	115,2	4	Pas
36 37 38 39 40	*Idem.*	*Idem.*	150	0,787	0,135	1447,5	115,2	4	Pas
41 42 43	*Idem.*	*Idem.*	150	0,787	0,280	1958,0	115,2	4	Pas
44 45	Sol de la cour de l'Arsenal de Metz, gazon sec.	*dem.*	40	0,787	0,090	1011,8	80,0	1	Pas
46 47	*Idem.*	*Idem.*	40	0,787	0,135	1025,7	80,0	1	Pas
48 49	*Idem.*	*Idem.*	40	0,787	0,260	1918,6	80,0	2	Pas

fluence de la largeur des jantes.

VITESSE.	PENTE du terrain par mètre courant. $\frac{h}{L}$	EFFORT exercé par le moteur parallèlem^t au plan de la route. F	EFFORT employé à vaincre la gravité.	RÉSISTANCE au roulement. R	VALEUR du coefficient. A	DONNÉES et formule employée.	OBSERVATIONS.
m	m	kil	kil	kil			
		157,0		157,0	0,0591		
		170,0		170,0	0,0641	R = 0,967 F.	Pl. I, Fig. 4.
		157,0		157,0	0,0591		
1,40	»	160,5	»	160,5	0,0605	$\frac{h}{L} = 0.$	
		156,5		156,5	0,0595		
		158,5		158,5	0,0595		
				Moyenne.	0,0603		
		215,5		215,5	0,0635		
		215,5		215,5	0,0635		
1,40	»	180,0	»	180,0	0,0530	*Idem.*	
		215,0		215,0	0,0634		
		220,0		220,0	0,0648		
				Moyenne.	0,0616		
		178,5		178,5	0,0476		
		172,0		172,0	0,0458		
1,40	»	172,8	»	172,8	0,0460	*Idem.*	
		177,0		177,0	0,0471		
		197,5		197,5	0,0526		
				Moyenne.	0,0478		
		212,0		212,0	0,0426		
1,40	»	196,0	»	196,0	0,0374	*Idem.*	
		206,0		206,0	0,0424		
				Moyenne.	0,0405		
1,20	0,0003	78,7	0,3	78,4	0,0307	$R = 0{,}967\,F \mp (P+q)\frac{h}{L}.$	Pl. I, Fig. 5.
1,24	-0,0003	84,6	-0,3	84,9	0,0330		
				Moyenne.	0,0318		
1,11	0,0003	70,5	0,3	70,2	0,0272	*Idem.*	
1,11	-0,0003	84,2	-0,3	83,9	0,0324		
				Moyenne.	0,0298		
1,11	0,0003	125,7	0,3	125,1	0,0260	*Idem.*	
0,97	-0,0003	119,0	-0,3	118,4	0,0232		
				Moyenne.	0,0246		

Suite des *Expériences sur l'in*

N^{os} des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture ou appareil employé.	Distance parcourue.	Diamètre des roues.	Largeur de jantes.	Pression sur le sol. P + p	Pression sur les essieux. p	Nombre de chevaux.	Allure.
			m	m	m	kil	kil		
50 51 52	Même sol.	Même appareil avec roues de 12 de campagne	40	1,482	0,074	2163,2	70,4	2	Pas
53 54	Chemin qui conduit aux batteries de siége du polygone de Metz, humide, en empierrement en bon état.	Même appareil.	150	0,787	0,045	1042,0	115,0	2	Pas
55		*Idem.*	150	0,787	0,090	1335,0	115,0	2	Pas
56 57	*Idem.*	*Idem.*	150	0,787	0,135	1447,5	115,0	2	Pas
58 59	*Idem.*	*Idem.*	150	0,787	0,280	1958,2	115,0	2	Pas
60 61	Chemin en empierrement médiocrement entretenu, couvert de 0^m,05 à 0^m,08 de boue très-épaisse, adhérente aux roues, au polygone de Metz.	Chariot d'artillerie.	200	De dev^t 1,15 De derrière 1,564	0,074	2746,0	»	4	Pas
62 63		Appareil avec arbre en fonte.	200	0,787	0,280	1958,2	»	3	Pas
64 65 66 67 68	Route de la gorge du fort Belle-Croix, à Metz, en bon état, empierrem^t uni, très-peu de cailloux à fleur du sol sec, couvert d'un peu de poussière.	Même appareil.	50 50 40 50 50	0,787	0,090	1011,8	80,0	1	Pas
69 70 71 72 73	*Idem.*	*Idem.*	50	0,787	0,135	1549,57	80,0	2	Pas

fluence de la largeur des jantes.

VITESSE.	PENTE du terrain par mètre courant. $\frac{h}{L}$	EFFORT exercé par le moteur parallèlem' au plan de la route. F	EFFORT employé à vaincre la gravité.	RÉSISTANCE au roulement. R	VALEUR du coefficient. A	DONNÉES et formule employée.	OBSERVATIONS.
m	m	kil	kil	kil			
1,32	»	109,8	»	109,8	0,0373	$R = 0{,}967\,F \mp (P+q)\frac{h}{L}$.	
1,28	»	114,5	»	114,5	0,0390		
1,92	»	113,5	»	113,5	0,0387		
				Moyenne.	0,0383		
1,50	»	85,0	»	85,0	0,0320	*Idem.*	Pl. I, Fig. 6.
1,50	»	86,5	»	86,5	0,0326		
				Moyenne.	0,0323		
1,50	»	128,5	»	»	»	*Idem.*	
1,50	»	123,3	»	123,3	0,0329	*Idem.*	
1,50	»	125,8	»	125,8	0,0336		
				Moyenne.	0,0332		
1,50	»	154,0	»	154,0	0,0311	*Idem.*	
1,50	»	144,5	»	144,5	0,0291		
				Moyenne.	0,0301		
1,48	»	207,0	»	207,0	0,0485	*Idem.*	
1,53	»	180,0	»	180,0	0,0420		
				Moyenne.	0,0452		
1,07	»	222,5	»	215,0	0,0432	*Idem.*	
1,04	»	222,5	»	215,0	0,0431		
				Moyenne.	0,0432		
1,25	0,0041	34,5	4,1	30,4	0,0119	*Idem.*	Pl. I, Fig. 7.
1,19	0,0187	48,8	18,9	29,9	0,0117		
1,16	0,0370	64,6	37,4	27,2	0,0106		
1,16	0,0341	64,0	34,5	29,5	0,0116		
1,19	0,0095	38,3	9,6	28,7	0,0112		
				Moyenne.	0,0114		
1,11	0,00024	43,2	4,0	39,2	0,0100	*Idem.*	
1,18	0,0371	91,1	57,5	33,6	0,0085		
1,19	0,0400	50,3	14,7	35,6	0,0090		
1,43	0,0116	53,0	17,9	35,1	0,0089		
1,09	0,0017	39,7	2,6	37,1	0,0094		
				A reporter.	....		

Suite des *Expériences sur l'in*

N°s des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture ou appareil employé.	Distance parcourue.	Diamètre des roues.	Largeur des jantes.	Pression sur le sol. P+p	Pression sur les essieux. p	Nombre de chevaux.	Allure.
			m	m	m	kil	kil		
74 75 76	*Idem.*	*Idem.*	50	0,787	0,135	1549,57	80	2	Pas
77 78 79 80 81 82	Même chemin.	Même appareil.	50	0,787	0,260	1918,6	80	1 1 2 1 1 1	Pas
83 84 85 86 87	Pavé en grès de Sierck du pont de l'Arsenal et de la rampe devant l'école d'artillerie.	*Idem.*	45 à 50	0,787	0,090	1011,8	80	2	Pas
88 89 90 91 92 93	*Idem.*	*Idem.*	45 à 50	0,787	0,135	1549,6	80	2	Pas
94 95 96 97	*Idem.*	*Idem.*	45 à 50	0,787	0,260	1918,6	80	2	Pas

fluence de la largeur des jantes.

VITESSE.	PENTE du terrain par mètre courant. $\frac{h}{L}$	EFFORT exercé par le moteur parallèlemᵗ au plan de la route. F	EFFORT employé à vaincre la gravité.	RÉSISTANCE au roulement. R	VALEUR du coefficient. A	DONNÉES et formule employée.	OBSERVATIONS.
m	m	kil	kil	kil			
1,14	0,0187	62,3	29,0	33,3	0,0084		
1,21	0,0344	97,9	53,3	44,6	0,0114		
1,08	0,0344	91,6	53,3	38,3	0,0097		
				Moyenne.	0,0094		
1,25	0,0024	52,3	0,5	51,8	0,0107		
1,25	0,0127	79,1	24,3	54,8	0,0113		
1,04	0,0370	111,7	70,9	40,8	0,0084	$R = 0{,}967\,F \mp (P+q)\,\frac{h}{L}$.	
1,04	0,0316	110,0	60,6	49,4	0,0101		
1,16	0,0116	67,2	22,2	45,0	0,0092		
1,22	0,0024	42,9	0,5	43,4	0,0089		
				Moyenne.	0,0101		
1,03	-0,0005	25,6	-0,5	26,1	0,0102		
1,14	0,0486	79,5	49,1	30,4	0,0119		
1,19	0,0383	61,1	38,7	22,3	0,0080	*Idem.*	Pl. I, Fig. 8.
1,16	0,0486	75,4	49,1	26,3	0,0102		
1,19	0,0383	57,6	38,7	18,9	0,0074		
				Moyenne.	0,0095		
1,04	-0,0005	36,9	-0,7	37,6	0,0096		
1,08	-0,0005	37,7	-0,7	38,4	0,0098		
1,05	0,0495	109,8	76,5	33,3	0,0085	*Idem.*	
1,24	0,0495	115,0	76,5	38,5	0,0098		L'excès de ces valeurs sur les précédentes provient de la vitesse comme on le verra plus loin.
1,30	0,0383	102,0	59,4	40,8	0,0104		
1,19	0,0005	46,3	0,7	45,6	0,0110		
				Moyenne.	0,0100		
1,04	0,0466	129,3	93,3	36,1	0,0073		
1,00	0,0370	107,3	73,4	33,9	0,0070		
0,98	0,0316	127,4	93,2	34,2	0,0070	*Idem.*	
1,15	0,0116	57,6	0,9	56,7	0,0117		
				Moyenne.	0,0082		

27. *Examen des résultats contenus dans le tableau précédent.* Pour discuter les résultats consignés dans le tableau précédent, nous avons commencé par les représenter graphiquement en prenant les largeurs de jante pour abscisses, et les valeurs du coefficient A pour ordonnées. Dans la Pl. I, la Fig. 3, relative aux expériences faites sur le sol du hangar de manœuvres de l'Ecole d'application, recouvert d'une couche de sable mêlé de gravier fin et la Fig. 4, relative aux expériences faites sur le sol humide du polygone d'artillerie à Metz, nous montrent que la valeur du coefficient A et, par suite, la résistance au roulement croissent à mesure que la largeur de la jante diminue. Les ordonnées de la courbe, qui représente la loi de cette variation, augmentent rapidement, lorsque la largeur de jante est au-dessous de $0^m,045$, et cette courbe parait avoir pour asymptote l'axe des ordonnées ou des valeurs de A, ce qui indiquerait une valeur infinie pour une largeur nulle. L'autre branche de la courbe parait, au contraire, avoir pour asymptote, soit l'axe des abscisses ou des largeurs, soit une parallèle à cet axe, ce qui indiquerait que la résistance se rapproche sans cesse d'une certaine valeur constante.

Le peu de variation qu'éprouve la valeur de A dans le sable ou dans la terre molle, à partir d'une largeur égale à $0^m,22$, montre que, pour les voitures destinées à des transports dans les terres grasses, dans les carrières où le sol est formé de décombres, dans les terrains sablonneux, etc., il n'y a pas d'avantage à dépasser cette limite de largeur. D'un autre côté, il parait convenable de donner aux roues de ces voitures des jantes larges, puisque nous voyons, d'après ces tracés, que le coefficient A a pour valeur

Pour des largeurs de.	$0^m,045$	$0^m,090$	$0^m,135$	$0^m,185$	$0^m,225$	$0^m,280$
Dans le sable........	0,0950	0,0791	0,0740	0,0630	0,0612	»
Dans la terre molle...	0,0595	0,0525	0,0475	0,0440	0,0420	0,0405

28. *Loi approximative de la variation de la résistance en fonction de la largeur.* Il parait assez difficile de reconnaitre la loi qui lie la largeur de la bande et les valeurs correspondantes du coefficient A; mais, sans rechercher une formule d'interpolation qui, en représentant les résultats de l'expérience, donne $A = \infty$ pour $l = 0$, et A égale constante pour une valeur de l un peu plus grande que $l' = 0^m,280$, il est facile de voir qu'entre les limites de variation de largeur que présentent ordinairement les bandes de roues, c'est-à-dire

depuis des largeurs de $0^{m},090$ jusqu'à $0^{m},220$ dans le sable, et de $0^{m},080$ jusqu'à $0^{m},280$ dans les terres molles, on peut substituer à la courbe une ligne droite, ce qui donne alors pour les valeurs de A un décroissement proportionnel à l'accroissement de la largeur de bande, de sorte que, pour ces deux séries d'expériences, les résultats obtenus entre les limites de largeur précédentes seraient représentés avec une exactitude suffisante par une formule de la forme

$$A = a + \alpha\,(l' - l)^{\text{kil}},$$

dans laquelle

a serait une constante égale à la valeur de A correspondante à la largeur supérieure, l',

l la largeur de la jante pour laquelle on veut déterminer la valeur de A,

α un coefficient constant égal à la tangente trigonométrique de l'inclinaison de la ligne droite substituée à la courbe.

On trouve ainsi, pour le sable mêlé de gravier (Pl. I, Fig. 3), sur une épaisseur de $0^{m},12$ à $0^{m},15$, pour

$$l' = 0^{m},225, \quad a = 0^{k},0595, \quad \alpha = 0,1423,$$

ce qui donne

$$A = 0,0595 + 0,1423\,(0^{m},220 - l)^{\text{kil}},$$

et pour la terre molle du sol du polygone de Metz (Pl. I, Fig. 4), où l'on a pour

$$l' = 0^{m},280, \quad a = 0^{k},0380, \quad \alpha = 0,071,$$

$$A = 0,0380 + 0,071\,(0^{m},280 - l)^{\text{kil}}.$$

Si l'on calcule, par ces formules approximatives, les valeurs du coefficient A correspondantes aux diverses largeurs, on trouve qu'elles représentent suffisamment bien les résultats de l'expérience, entre les limites ordinaires de largeur de bande des roues.

En effet, on a :

Largeurs de la bande de roue			m 0,090	m 0,135	m 0,185	m 0,225	m 0,280
Valeurs de A	sable	observées	k 0,0795	k 0,0710	k 0,0640	k 0,0595	k »
		calculées	0,0780	0,0716	0,0645	0,0595	»
	terre molle	observées	0,0525	0,0475	0,0440	0,0420	0,0380
		calculées	0,0515	0,0483	0,0447	0,0419	0,0380

A mesure que le sol devient plus ferme, la loi de la proportionnalité du décroissement de la résistance à l'accroissement de la largeur paraît devenir de plus en plus approchée de l'exactitude, en même temps que l'influence de la largeur diminue.

En effet, on voit (Pl. I, Fig. 5) que, pour le sol ferme, sec et couvert de gazon de la cour de l'arsenal de Metz, on a

$$l = 0^{m},260, \quad a = 0^{k},0242, \quad \text{et} \quad \alpha = 0,0453,$$

et par suite

$$A = 0,0242 + 0,0453\,(0,260 - l)^{kil}.$$

La comparaison des résultats de l'expérience avec ceux du calcul donne pour

Des largeurs de	$0^{m},090$	$0^{m},135$	$0^{m},260$
Valeurs de A... observées	$0^{k},0311$	$0^{k},0295$	$0^{k},0242$
Valeurs de A... calculées	0,0319	0,0299	0,0242

Pour le chemin des batteries du polygone formé d'un rechargement de gravier, fréquenté habituellement par des voitures peu chargées et par des gens de pied, et par conséquent assez peu raffermi, l'influence de la largeur diminue (Pl. II, Fig. 6) encore, et l'on a pour

$$l = 0^{m},280, \quad a = 0,0308, \quad \alpha = 0,0072,$$

et

$$A = 0,0308 + 0,0072\,(0,280 - l)^{kil}.$$

La comparaison des résultats de l'expérience et de ceux du calcul donne

Largeurs de bande de	$0^{m},045$	$0^{m},135$	$0^{m},280$
Valeurs de A.... observées	$0^{k},0325$	$0^{k},0315$	$0^{k},0308$
Valeurs de A.... calculées	0,0325	0,0318	0,0308

Sur le chemin du polygone de Metz, devant le corps de garde et l'école de pyrotechnie à Metz, en empierrement médiocrement entretenu, couvert de boue épaisse de $0^{m},05$ à $0^{m},08$, continuellement fréquenté par des tombereaux chargés de gravier, on a trouvé (expériences 60 à 63) que, pour des largeurs de jante de $0^{m},074$ et de $0^{m},280$, la résistance a été sensiblement la même, puisque la valeur moyenne de A, obtenue avec le chariot à munitions, est de 0,0452, tandis que l'appareil avec arbre en fonte et des jantes de

$0^m,280$ a donné $A = 0,0432$. La différence n'est que 0,002 ou $\frac{1}{22}$. Ce chemin donnerait

$$a = 0^m,0433 \quad \text{pour} \quad l = 0^m,280, \quad \text{et} \quad \alpha = 0,0097.$$

$$A = 0,0433 + 0,0097\,(0,280 - l)^{kil}.$$

Pour le chemin de la gorge du fort Belle-Croix, en empierrement de gravier en bon état d'entretien, offrant quelques petits cailloux à fleur du sol, l'influence de la largeur des bandes diminue encore, comme on peut le voir par le tableau et par la fig. 7, et elle devient à peu près insensible.

On a, en effet

$$l = 0^m,260, \quad a = 0^k,0092, \quad \alpha = 0,00606,$$

$$A = 0,0092 + 0,00606\,(0,260 - l)^{kil}.$$

Largeurs de bande de		m 0,090	m 0,135	m 0,260
Valeurs de A	observées	k 0,0103	k 0,0100	k 0,092
	calculées	0,0102	0,0100	0,092

Enfin sur le pavé de Metz, la largeur de la jante est tout-à-fait sans influence, ainsi que le montre le tableau et la fig. 6, et comme il était facile de le prévoir à priori, puisque ce sol étant à peu près incompressible, la roue, quelle que soit sa largeur, ne porte guère que sur deux ou trois points au plus. Il y a cependant des cas exceptionnels, comme celui du pavé de Paris et des roues très-étroites : nous en parlerons plus tard.

29. *Conclusion relative aux routes pavées et en empierrement solide.* Si l'on remarque que les expériences faites sur les routes du polygone et de la gorge de Belle-Croix, sont relatives à des largeurs comprises entre $0^m,045$ et $0^m,280$, c'est-à-dire entre des limites bien plus étendues que celles entre lesquelles varient les jantes ordinairement employées sur les grandes routes, pour les voitures pesantes et qui sont habituellement comprises entre $0^m,070$ et $0^m,220$ au plus, on admettra sans doute avec nous que

Sur toutes les routes de ce genre, en bon état d'entretien et, même en assez mauvais état, quand le fond en est solide, la résistance au roulement est, comme sur le pavé, à peu près indépendante de la largeur de la jante.

Par conséquent, dans ce cas, l'augmentation de la largeur ne diminue pas le tirage, et surcharge inutilement la voiture.

Mais il n'en est pas de même, à beaucoup près, dans les terrains mous ou sur les routes en empierrement nouvellement rechargées ou construites avec des matériaux friables, comme ceux que l'on emploie dans un partie de la Champagne, et l'on voit qu'il y aura, sous le rapport de la diminution du tirage, d'autant plus d'avantage à augmenter la largeur des jantes que le sol sera plus mou et plus pénétrable.

30. *Observation relative à l'influence de la largeur des jantes sur la conservation des routes.* Nous n'avons examiné jusqu'ici l'influence de la largeur des jantes que sous son rapport avec l'intensité de la résistance opposée par le sol au roulement de la roue, si nous la considérons sous celui de la conservation des routes, nous arriverons à des conséquences à peu près analogues.

Il est évident, en effet, que, dans les sols mous, la profondeur des ornières sera d'autant moindre que la largeur des jantes sera plus grande, et que, dans les terrains de ce genre, les routes seront d'autant moins détériorées que les bandes seront plus larges; mais il est rare que les routes soient à un état assez homogène de composition, pour que cet avantage y soit aussi grand que dans les terres et le sable. En effet, les routes sont entretenues avec des matériaux concassés, des cailloux roulés dont la grosseur et la dureté varient, d'où il résulte que, dans les routes en bon état ordinaire, il y a toujours une quantité plus ou moins grande de matériaux plus durs ou plus gros, qui affleurent le sol, et qui supportent presque seuls le poids des charges. En un mot, la charge est loin de se répartir uniformément sur toute la largeur de la bande, et dès-lors la fatigue de la route ne décroît pas autant qu'on pourrait l'espérer par l'augmentation de largeur des bandes.

On doit encore remarquer que les expériences précédentes, et les conséquences que nous en tirons, sont relatives à des jantes exactement cylindriques et à arêtes vives, susceptibles d'agir uniformément sur toute leur largeur, quand l'homogénéité du terrain le permettait, tandis que les jantes des roues, quelque larges qu'elles soient, quand on les met en service, deviennent convexes et arrondies, et ne portent plus que sur une petite partie de leur largeur totale, ainsi que l'a déjà fait observer M. Dupuit.

Il en est à plus forte raison de même sur le pavé, dont une seule pierre ou deux au plus se partagent la charge de chaque roue et la transmettent par leur base au sol inférieur, quelle que soit à peu près la largeur de la bande; d'où il résulte que la conservation de la route dépend dans ce cas beaucoup

plus de la dimension des pavés, et de la solidité du sol sur lequel ils reposent que de la largeur des bandes.

Il nous semble donc permis de conclure que, sous ce rapport, il ne convient de donner à la bande une largeur de $0^m,15$ et plus que pour les terrains mous et très-compressibles, mais que, pour les routes ordinaires en bon empierrement, il est inutile de la porter au-delà de $0^m,10$ à $0^m,12$, et que pour les chaussées pavées il est tout-à-fait inutile d'exiger ces dernières dimensions.

31. *Observation sur la largeur des bandes de roue prise pour base des tarifs des chargemens.* A ces réflexions j'ajouterai que les roues n'étant presque jamais cylindriques, et tournant dans un plan incliné à l'horizon, les circonférences extérieure et intérieure n'ont pas des vitesses égales dans le sens du mouvement, et qu'il en résulte un glissement relatif de leur surface sur le sol, ce qui tend à produire une désagrégation sensible et une augmentation dans le tirage. Cet inconvénient, qui ne saurait être évité que par l'emploi de fusées cylindriques et de roues exactement verticales, outre qu'il paraît évident de lui-même, a été bien constaté par les expériences de M. Cumming et par celles de M. Edgeworth. Il en résulte que l'exagération de la largeur des jantes est plus nuisible qu'utile à la conservation des routes.

On a déjà vu que l'hypothèse d'une égale répartition de la pression sur toute la largeur de la jante n'est admissible que sur les terrains mous et homogènes, et que, par conséquent, son application aux routes ordinaires en empierrement et, à plus forte raison, aux chaussées pavées ne saurait être exacte. C'est ce dont on peut facilement s'assurer, soit en regardant une voiture qui vient au-devant de soi, et dont on voit les roues ne poser que par une petite portion de leur largeur, ou en relevant, comme l'a fait M. Dupuit, la largeur des empreintes laissées par les roues sur le sol.

Enfin l'autorisation de charger proportionnellement aux largeurs des jantes a conduit à laisser porter, par des voi ures à deux roues, des chargemens qui devraient être répartis sur quatre, et qui dégradent les routes. Car ces masses énormes brisent et broyent les pierres sur lesquelles elles reposent par une faible portion de la largeur de la bande de roue, et qui auraient résisté à la même charge répartie sur quatre roues.

Il me semble donc que, sous tous les rapports, le principe de la proportionnalité des chargemens aux largeurs des jantes n'est pas exact dans la pratique, et que l'application absolue qu'on en fait par la fixation des tarifs

sur le roulage est à la fois gênante pour le commerce, et plus nuisible qu'utile aux routes. D'un autre côté, l'expérience montrant que sur les terrains compressibles la résistance et la profondeur de l'impression diminuent, à mesure que la largeur de la jante augmente, non pas proportionnellement à cette largeur, mais seulement proportionnellement à l'accroissement de largeur, on voit que cette dimension a une influence qu'il ne serait permis de négliger, et il ne me semble donc pas juste non plus de dire que l'intérêt de la route soit étranger à la fixation de cette dimension.

Entre ces deux opinions diamétralement opposées, il y a lieu ici, comme dans tant d'autres questions pratiques, de prendre un moyen terme, et c'est ce qui m'a conduit à dire qu'il me paraissait inutile, sur les routes ordinaires en empierrement, d'exiger des largeurs de plus de $0^m,10$ à $0^m,12$.

32. *Remarque relative aux terrains en pente.* Une partie des expériences contenues dans le tableau ayant été faites sur des terrains en pente, et les formules employées ayant tenu compte de l'influence de la gravité, on voit, par l'accord des résultats obtenus dans la montée avec ceux qui l'ont été dans la descente, que la résistance au roulement est indépendante de la pente. Mais cette conséquence ne doit être étendue qu'aux cas où la pente est assez faible, et la résistance assez grande pour que le tirage à la descente soit encore assez fort, et assez régulier pour qu'il n'y ait pas d'acoup dans le mouvement, ainsi qu'on l'a déjà fait observer au N° 15.

33. *Influence de la vitesse de transport sur la résistance au roulement.* Pour reconnaître l'influence de la vitesse de transport sur la résistance, nous n'avons eu qu'à faire marcher les différentes voitures employées sur des sols à divers états de consistance et d'égalité à la surface. Nous avons pu ainsi déterminer les efforts moyens, ou la quantité de travail consommée par mètre courant de chemin parcouru.

Une partie de ces expériences ont été faites avec le dynamomètre à style, sur des étendues de chemin limitées parfois par les localités, mais que l'on a cherché à rendre aussi grandes que possible, et qui sur les routes ont été habituellement de 250 à 300 mètres. D'autres ont été exécutées avec le dynamomètre à compteur, avec lequel il nous est devenu facile d'opérer à des allures bien réglées sur des distances de 1000 mètres et plus.

34. *Observation relative au dynamomètre à compteur.* L'accord des résultats obtenus dans diverses circonstances, soit avec le dynamomètre à style, soit avec le dynamomètre à compteur, montre que ce dernier instru-

ment donne des indications aussi exactes que l'autre, et qu'il est éminemment propre à des observations suivies sur le travail développé par des moteurs animés et toutes les expériences sur le tirage des voitures ou des charrues.

Pour l'intelligence et la vérification des résultats, nous rappellerons (voyez le N° 19 de la notice sur les appareils dynamométriques) que la formule à employer, pour déduire du nombre de tours, faits par la roulette du compteur, la quantité de travail développée par le moteur, est

$$Fe = \frac{2\pi R \cdot r' \rho k}{R'} N,$$

dans laquelle on représente par

F l'effort moyen exercé par le moteur,

e le chemin parcouru,

R le rayon de la roue sur laquelle on prend le mouvement du plateau,

r' le rayon de la poulie du plateau, y compris le demi-diamètre de la corde,

ρ le rayon de la roulette,

k le rapport constant des efforts exprimés en kilogrammes, aux flexions exprimées en mètres,

R′ le rayon moyen de la partie du moyeu embrassée par la corde qui transmet le mouvement au plateau,

N le nombre de tours de la roulette, correspondant au chemin parcouru e.

35. *Expériences sur l'influence de la vitesse*

N°s des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Diamètre des roues: de devant.	Diamètre des roues: de derrière.	Largeur des jantes.	Pression sur le sol. P_1	Pression sur les essieux: de devant. p'	Pression sur les essieux: de derrière. p''	Nombre de chevaux.	Allure.
			m	m	m	m	kil	kil	kil		
1 2 3 4	Sol du polygone de Metz, gazon humide et un peu mou.	Appareil avec arbre en fonte décrit au N° 2.	150	0,787	»	0,045	1042,0	115,0	»	4	Pas
5 6 7	*Idem.*	*Idem.*	150	0,787	»	0,045	1042,0	115,0	»	4	Trot
8 9	*Idem.*	*Idem.*	150	0,787	»	0,090	1335,0	115,0	»	2	Pas
10 11	*Idem.*	*Idem.*	150	0,787	»	0,090	1335,0	115,0	»	2	Trot
12 13 14	*Idem.*	*Idem.*	150	0,787	»	0,135	1447,5	115,0	»	2	Pas
15 16	*Idem.*	*Idem.*	150	0,787	»	0,135	1447,5	115,0	»	2	Trot
17 18	Sol du polygone de Metz, rechargé de 0m,16 à 0m,18 de gravier	*Idem.*	40	1,582	»	0,074	2163,0	115,0	»	3	Pas
19	*Idem.*	*Idem.*	40	1,582	»	0,074	2163,0	115,0	»	3	Trot
20	*Idem.*	*Idem.*	40	1,582	»	0,074	2163,0	115,0	»	3	Galop
21 22 23	Route de la gorge de Belle-Croix, accotemt chargé de gravier.	*Idem.*	55	1,582	»	0,074	2163,0	115,0	»	2	Pas

sur la résistance au tirage des voitures.

VITESSE. V	PENTE par mètre courant. $\frac{h}{L}$	NOMBRE de tours de la roulette correspondant à la distance parcourue.	EFFORT exercé par le moteur parallèlᵗ au plan de la route.	EFFORT EMPLOYÉ à vaincre la gravité.	EFFORT EMPLOYÉ à vaincre le frottement des essieux.	RÉSISTANCE au roulement. R	VALEUR du coefficient. A	DONNÉES et formule employée.	OBSERVATIONS.
m	m		kil	kil	kil	kil			
1,35	»	»	166,0	»	»	166,0	0,0605		
1,39	»	»	162,5	»	»	162,5	0,0591		
1,45	»	»	164,0	»	»	164,0	0,0595		
1,43	»	»	162,5	»	»	162,5	0,0591		
2,72	»	»	164,0	»	»	164,0	0,0595		
2,79	»	»	175,5	»	»	175,5	0,0641		
2,90	»	»	164,0	»	»	164,0	0,0595		
2,18	»	»	215,0	»	»	215,0	0,0634		
1,37	»	»	215,5	»	»	215,5	0,0635		
3,06	»	»	180,0	»	»	180,0	0,0530		
3,70	»	»	215,0	»	»	215,0	0,0634		
1,32	»	»	172,8	»	»	172,8	0,0460		
1,36	»	»	177,0	»	»	177,0	0,0471		
1,38	»	»	178,5	»	»	178,5	0,0476		
2,49	»	»	172,0	»	»	172,0	0,0458		
2,72	»	»	172,8	»	»	172,8	0,0460		
1,33	»	»	187,5	»	»	187,5	0,0643		
1,33	»	»	186,7	»	»	186,7	0,0640		
2,86	»	»	193,2	»	»	193,2	0,0656		
4,00	»	»	212,0	»	»	212,0	0,0720		
1,25	»	»	176,2	»	»	176,2	0,0605		
1,37	»	»	183,1	»	»	183,1	0,0635		
1,37	»	»	185,2	»	»	185,2	0,0635		

Suite des *Expériences sur l'influence de la*

N°s des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Diamètre des roues de devant.	Diamètre des roues de derrière.	Largeur des jantes.	Pression sur le sol. P,	Pression sur les essieux de devant. P'	Pression sur les essieux de derrière P''	Nombre de chevaux.	Allure.
			m	m	m	m	kil	kil	kil		
24 25	Même route.	Même appareil.	55	1,582	»	0,074	2163,0	115	»	3	Trot
26	*Idem.*	*Idem.*	55	1,582	»	0,074	2163,0	115	»	3	Galop
27 28	Chemin des bat. du polygone de Metz, humide, caillout. en bon état, compress.	*Idem.*	150	0,787	»	0,045	1042,0	115	»	2	Pas Trot
29 30 31	Même chemin, mouillé et couv. de boue.	*Idem.*	150	0,787	»	0,090	1335,0	115	»	2 3	Pas Trot
32 33	Même chemin, un peu humide.	*Idem.*	150	0,787	»	0,135	1447,5	115	»	4	Pas
34 35	*Idem.*	*Idem.*									Trot
36 37 38	Sol du polyg. de Metz, détrempé par la fonte des neig. très-mou.	Chariot à munition.	500	1,150	1,585	0,072	2681,0	»	»	4	Pas
39	*Idem.*	*Idem.*									Trot
40 41 42	Chemin recharg de décombres dans la cour de l'Ars. de Metz, sur une épaisseu de 0,10 à 0^m,12	Appareil avec arbre en fonte décrit au N° 3.	50	0,787	»	0,260	1918,6	115	»	3	Pas Trot

vitesse sur la résistance au tirage des voitures.

VITESSE. V	PENTE par mètre courant. $\frac{A}{L}$	NOMBRE de tours de la roulette correspondant à la distance parcourue.	EFFORT exercé par le moteur parallèlem^t au plan de la route.	EFFORT EMPLOYÉ à vaincre la gravité.	EFFORT EMPLOYÉ à vaincre le frottement des essieux.	RÉSISTANCE au roulement. R	VALEUR du coefficient. A	DONNÉES et formule employée.	OBSERVATIONS.
m	m		kil	kil	kil	kil			
2,90	»	»	201,8	»	»	201,8	0,0692		
3,33	»	»	175,2	»	»	175,2	0,0600		
4,59	»	»	169,5	»	»	169,5	0,0582		
1,30	»	»	85,0	»	»	85,0	0,0320		
2,70	»	»	89,8	»	»	89,8	0,0380		
1,22	»	»	120,5	»	»	120,5	0,0355		
1,46	»	»	128,5	»	»	128,5	0,0378		
3,10	»	»	128,0	»	»	128,0	0,0378		
1,36	»	»	177,0	»	»	177,0	0,0471		
1,38	»	»	178,5	»	»	178,5	0,0476		
2,49	»	»	172,0	»	»	172,0	0,0458		
2,72	»	»	172,8	»	»	172,8	0,0460		
1,09	»	»	348,5	»	»	342,8	0,0849	$\rho' = \rho'' = 0{,}032.$	
1,12	»	»	344,0	»	»	338,3	0,0829	$\frac{P'}{\rho'} + \frac{P''}{\rho''} = 4140.$	
1,20	»	»	339,5	»	»	333,8	0,0825		
2,15	»	»	363,0	»	»	357,1	0,0862		
1,20	»	»	227,5	»	»	227,5	0,0467		
1,27	»	»	235,0	»	»	235,0	0,0438		
3,22	»	»	198,7	»	»	198,7	0,0408		

Suite des *Expériences sur l'influence de la*

Nos des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Diamètre des roues de devant.	Diamètre des roues de derrière.	Largeur des jantes.	Pression sur le sol. P.	Pression sur les essieux de devant. P′	Pression sur les essieux de derrière. P″	Nombre de chevaux.	Allure.
			m	m	m	m	kil	kil	kil		
43			300	1,150	1,585	0,072	3022	1345,5	1345,5	4	Pas
44	Route de Thionville très-sèche avec cailloutage à fleur du sol, couverte d'un peu de poussière										
45		Chariot à munitions	600								
46			1000								
47			1000								Pas
48			500								
49			800	1,150	1,585	0,072	2550	1110,7	1110,7	4	
50	*Idem.*	*Idem.*	600								Trot
51			700								
52							2497	1083,2	1083,2		
53							2497	1083,2	1083,2		
54	*Idem.*	*Idem.*					2497	1083,2	1083,2	2	Pas
55							2728	1198,5	1198,5		
56							2728	1198,5	1198,5		
			350	1,150	1,585	0,072					
57							2728	1198,5	1198,5		
58	*Idem.*	*Idem.*					2728	1198,5	1198,5	2	Trot
59							2497	1083,2	1083,2		
60		Affût de 16 avec sa pièce.									
61	Route de Nancy entre Metz et Montigny, en parfait entretien avec de petits cailloux à fleur du sol, très-sèche sans poussière.									2	Pas
62			300	1,564	1,564	0,100	3715	»	»		
63											
64		*Idem*								4	Pas allongé
65											

vitesse sur la résistance au tirage des voitures.

VITESSE. V	PENTE par mètre courant. $\frac{h}{b}$	NOMBRE de tours de la roulette correspondant à la distance parcourue.	EFFORT exercé par le moteur parallèlem^t au plan de la route.	EFFORT EMPLOYÉ à vaincre la gravité.	EFFORT EMPLOYÉ à vaincre le frottement des essieux.	RÉSISTANCE au roulement. R	VALEUR du coefficient. A	DONNÉES et formule employée.	OBSERVATIONS.
m	m		kil	kil	kil	kil			
1,50	0,0009	»	56,0	2,72	7,05	46,2	0,0102	$\rho' = \rho'' = 0,032.$	Pl. II, Fig. 1.
1,50	0,0011	»	56,0	3,32	7,05	45,6	0,0100	$\frac{P'}{r'} + \frac{P''}{r''} = 4530.$	
1,49	»	175	38,2	»	5,40	32,8	0,0097		Ces expériences ont été faites avec le dynamomètre à compteur..
1,50	»	288	37,2	»	5,40	32,3	0,0096	$\frac{P'}{r'} + \frac{P''}{r''} = 3820.$	Données pour la formule de cet instrument.
1,52	»	283	37,0	»	5,40	31,6	0,0094		$R = 0^m,575,$
1,82	»	151	43,3	»	5,40	37,9	0,0112		$r' = 0,0745,$
1,96	»	252	41,2	»	5,40	35,8	0,0106		$r = 0,0258,\ k = 3774,$
2,16	»	205	44,6	»	5,40	39,2	0,0116		$Fe = 184,1$ N.
2,41	»	269	50,3	»	5,40	44,9	0,0133		
1,56	0,0025	»	45,9	6,00	5,30	34,9	0,0095	$\frac{P'}{r'} + \frac{P''}{r''} = 3750.$	
1,49	0,0028	»	43,7	6,70	5,30	32,0	0,0087	*Idem.*	
1,55	-0,0028	»	34,7	-6,70	5,30	36,4	0,0102	*Idem.*	
1,52	-0,0004	»	44,8	-1,20	5,80	40,0	0,0098	$\frac{P'}{r'} + \frac{P''}{r''} = 4110.$	
1,50	-0,0008	»	42,0	-2,00	5,80	39,0	0,0093	*Idem.*	
3,20	0,0009	»	65,2	2,30	5,80	57,1	0,0139	*Idem.*	
3,13	-0,0024	»	67,1	-6,50	5,80	67,8	0,0165	*Idem.*	
3,22	0,0021	»	63,6	5,10	5,30	53,3	0,0142	$\frac{P'}{r'} + \frac{P''}{r''} = 3750.$	
1,24	0,0078	»	89,0	28,95	7,25	52,9	0,0112	$\frac{P'}{r'} + \frac{P''}{r''} = 4750.$	
1,24	0,0078	»	93,5	28,95	7,25	57,3	0,0120		Pl. II, Fig. 2.
1,31	0,0078	»	93,2	28,95	7,25	57,0	0,0120		
1,51	0,0078	»	95,5	28,95	7,25	59,3	0,0125		
1,53	0,0078	»	90,0	28,95	7,25	53,8	0,0113		
1,53	0,0078	»	90,8	28,95	7,25	54,6	0,0115		

Suite des *Expériences sur l'influence de la*

N° des expériences	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Diamètre des roues de devant.	Diamètre des roues de derrière.	Largeur des jantes.	Pression sur le sol. P_t.	Pression sur les essieux de devant. p'	Pression sur les essieux de derrière. p''	Nombre de chevaux.	Allure.
			m	m	m	m	kil	kil	kil		
66 67 68	Même route.	Affût de 16 avec sa pièce.									Petit trot
			300	1,564	1,564	0,100	3715	»	»	4	
69 70 71	*Idem.*	*Idem.*									Grand trot
72 73 74 75 76	Pavé en grès de Sierck, de la rue d'Asfeld à Metz	*Idem.*									Pas
77 78	*Idem.*	*Idem.*									Pas alongé
79			184	1,564	1,564	0,100	3715	»	»	4	
80 81 82	*Idem.*	*Idem.*									Petit trot
83 84 85 86	*Idem.*	*Idem.*									Trot along
87 88	Route de Thionville accotement rechargé de $0^m,04$ à $0^m,05$ de gravier.	Chariot à munitions	300	1,150	1,585	0,072	3022	1345,5	1345,5	4	Pas
89		*Idem.*									Petit trot
90 91		*Idem.*									Trot along
			300	1,150	1,585	0,072	3022	1345,5	1345,5	4	
92	*Idem.*	*Idem.*									Galop

vitesse sur la résistance au tirage des voitures.

VITESSE. v	PENTE par mètre courant. $\frac{h}{b}$	NOMBRE de tours de la roulette correspondant à la distance parcourue.	EFFORT exercé par le moteur parallèlement au plan de la route.	EFFORT EMPLOYÉ à vaincre la gravité.	EFFORT EMPLOYÉ à vaincre le frottement des essieux.	RÉSISTANCE au roulement. R	VALEUR du coefficient. A	DONNÉES et formule employées.	OBSERVATIONS.
m	m		kil	kil	kil	kil			
2,42	0,0078	»	99,8	28,95	7,25	63,6	0,0136		
2,44	0,0078	»	102,3	28,95	7,25	66,1	0,0139		
2,48	0,0078	»	103,7	28,95	7,25	67,5	0,0142		
3,66	0,0078	»	115,6	28,95	7,25	79,4	0,0167		
3,85	0,0078	»	119,0	28,95	7,25	82,8	0,0174		
3,85	0,0078	»	128,0	28,95	7,25	91,8	0,0193		
1,09	0,0069	»	68,5	25,50	7,25	35,7	0,0076		Pl. II, Fig. 3.
1,21	0,0069	»	68,8	25,50	7,25	36,6	0,0076		
1,20	0,0069	»	72,3	25,50	7,25	39,5	0,0084		
1,24	0,0069	»	68,8	25,50	7,25	36,0	0,0076		
1,42	0,0069	»	72,5	25,50	7,25	39,7	0,0084		
1,51	0,0069	»	79,8	25,50	7,25	47,0	0,0099		
1,55	0,0069	»	78,0	25,50	7,25	45,3	0,0096		
1,60	0,0069	»	78,8	25,50	7,25	46,1	0,0097		
2,21	0,0069	»	96,3	25,50	7,25	63,5	0,0134		
2,21	0,0069	»	100,2	25,50	7,25	67,4	0,0142		
2,29	0,0069	»	99,4	25,50	7,25	66,8	0,0141		
2,67	0,0069	»	123,5	25,50	7,25	90,7	0,0192		
3,28	0,0069	»	127,5	25,50	7,25	94,7	0,0200		
3,28	0,0069	»	127,0	25,50	7,25	94,2	0,0199		
3,28	0,0069	»	130,5	25,50	7,25	97,7	0,0206		
1,39	-0,0028	»	254,0	-8,45	7,05	255,4	0,0543		
1,45	-0,0028	»	245,0	-8,45	7,05	246,4	0,0544		
2,64	-0,0019	»	259,0	-5,73	7,05	256,3	0,0567		
3,03	-0,0028	»	250,4	-8,45	7,05	251,4	0,0555		
3,70	-0,0019	»	253,5	-5,73	7,05	250,8	0,0554		
4,00	0,0028	»	266,0	-8,45	7,05	267,4	0,0590		

Suite des *Expériences sur l'influence de la*

N°s des expériences	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Diamètre des roues de devant.	Diamètre des roues de derrière.	Largeur des jantes.	Pression sur le sol. P_1	Pression sur les essieux de devant. p'	Pression sur les essieux de derrière. p''	Nombre de chevaux.	Allure.
			m	m	m	m	kil	kil	kil		
93	Pavé de grès de Sierck. Rampe devant l'école d'artill.	Appareil avec arbre en fonte.	40								Pas
94			40								
95			50	0,787	»	0,135	1549,6	80,0	»	2	
96	*Idem.*	*Idem.*	30								Trot
97			30								
98	Pavé de grès de Sierck, de la rue d'Asfeld.	Chariot à munition.	184	1,150	1,585	0,072	2440,8	1054,9	1054,9	2	Pas
99			184								
100	Route de Thionville couv. de boue en empierrm' en bon état, caill. à fleur du sol.	Diligence des messageries générales.	100				5230,0	2710,0	2520,0		
101			200				5165,0	2645,0	2520,0	4	Pas
102			400				5165,0	2645,0	2520,0		
103			360				5230,0	2710,0	2520,0		
104			1000	0,880	1,400	0,110					
105			1000								
106			1000								
107	*Idem.*	*Idem.*	1000				2500,0	1089,0	939,0	4	Trot
108			1000								
109			1000								
110			1000								
111			1000								
112	Route de Thionville.	Calèche d'Erhler.									Pas
113											
114	*Idem.*	*Idem.*	400	0,922	1,300	0,060	1425,0	637,5	592,5	2	Petit trot
115											
116	*Idem.*	*Idem.*									Grand trot
117											

vitesse sur la résistance au tirage des voitures.

VITESSE.	PENTE par mètre courant.	NOMBRE de tours de la roulette correspondant à la distance parcourue.	EFFORT exercé par le moteur parallèlement au plan de la route.	EFFORT EMPLOYÉ à vaincre		RÉSISTANCE au roulement.	VALEUR du coefficient.	DONNÉES et formule employée.	OBSERVATIONS.
				la gravité.	le frottement des essieux.				
v	$\frac{h}{L}$					R	A		
m	m		kil	kil	kil	kil			
1,05	0,04950	»	109,8	76,5	12,70	33,80	0,0085		Pl. II, Fig. 5.
1,24	0,04950	»	115,0	76,5	12,70	38,50	0,0095		
1,30	0,03830	»	100,2	59,4	12,70	40,80	0,0104		
2,50	0,04430	»	139,0	68,6	12,70	70,40	0,0179		
2,86	0,03450	»	125,7	53,4	12,70	72,30	0,0184		
1,49	0,00690	»	58,5	16,8	5,10	36,60	0,0100	$\rho'=\rho''=0^m,032.$	Pl. II, Fig. 4.
1,80	0,00690	»	59,8	16,8	5,10	37,90	0,0103	$\frac{P'}{r'}+\frac{P''}{r''}=3670.$	
1,25	0,00110	»	160,0	9,42	13,80	136,70	0,0142		Pl. II, Fig. 6.
1,43	0,00225	»	168,0	11,60	13,70	142,70	0,0150		
1,49	0,00012	»	137,2	0,60	13,70	122,70	0,0129		
1,38	0,00077	»	155,8	4,00	13,80	137,90	0,0143		
2,86	»	482,5	102,5	»	6,20	96,30	0,0207		Données pour la formule du compteur. $R=0^m,440.$ $r'=0^m,0745.$ $\rho=0^m,0258.$ $k=3774$ pour le dynamomètre de 300^k $R'=0^m,0935.$ $Fe=212\,N.$
2,90	»	461,5	97,8	»	6,20	91,60	0,0197		
2,95	»	475,0	100,8	»	6,20	94,60	0,0204		
2,95	»	455,0	96,5	»	6,20	90,30	0,0194		
2,97	»	456,4	96,6	»	6,20	90,40	0,0194		
2,99	»	449,5	95,1	»	6,20	88,90	0,0191		
3,05	»	491,0	144,0	»	6,20	97,80	0,0211		
3,15	»	456,5	96,6	»	6,20	90,40	0,0194		
1,50	»	»	43,7	»	2,45	41,25	0,0156	$\rho'=\rho''=0^m,025.$ $p'=75^k, p''=120^k.$	Pl. II, Fig. 9.
1,60	»	»	46,5	»	2,45	44,05	0,0167	$\frac{P'}{r'}+\frac{P''}{r''}=2643.$	
2,82	»	»	48,6	»	2,45	46,15	0,0175		
2,96	»	»	54,7	»	2,45	52,25	0,0196		
3,56	»	»	53,5	»	2,45	51,00	0,0193		
3,68	»	»	57,1	»	2,45	54,65	0,0107		

Suite des *Expériences sur l'influence de la*

N°s des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Diamètre des roues de devant.	Diamètre des roues de derrière.	Largeur des jantes.	Pression sur le sol. P,	Pression sur les essieux de devant. p'	Pression sur les essieux de derrière p''	Nombre de chevaux.	Allure.
			m	m	m	m	kil	kil	kil		
118 119 120 121	Route de Metz à Nancy, entre Jouy et Montigny.	Diligence des messageri[e]s générales.									Pas
122 123 124 125	Au milieu de la chaussée, en bon état d'entretien, mouillée par la pluie, un peu de boue.	*Idem.*	1000	0,900	1,400	0,110	4597	1854	2309	4	Petit trot.
126 127 128 129	Quelques cailloux à fleur du sol.	*Idem.*									Trot along
130 131	Même route, un peu humide.	*Idem.*					4402	1724	2244	4	Pas
132 133	*Idem.*	*Idem.*	300	0,900	1,400	0,110	4532	1789	2309	4	Trot
134 135	*Idem.*	*Idem.*					4597	1854	2309	4	Trot along
136 137	Même route. Sur l'accotement, une ornière de $0^m,05$ à $0^m,06$.	*Idem.*					4402	1724	2244	4	Pas
			300	0,900	1,400	0,110					
138 139 140	Sur le côté extérieur, poussière sèche.	*Idem.*					4597	1854	2309	4	Trot

vitesse sur la résistance au tirage des voitures.

VITESSE. V	PENTE par mètre courant. $\frac{h}{L}$	NOMBRE de tours de la roulette correspondant à la distance parcourue.	EFFORT exercé par le moteur parallèlement au plan de la route.	EFFORT EMPLOYÉ à vaincre		RÉSISTANCE au roulement. R	VALEUR du coefficient. A	DONNÉES et formule employée.	OBSERVATIONS.
				la gravité.	le frottement des essieux.				
m	m		kil	kil	kil	kil			
1,40	»	919,5	134,40	»	12,7	121,7	0,0150		Pl. II, Fig. 7.
1,43	»	943,0	138,00	»	12,7	125,3	0,0155		
1,44	»	1000,2	149,00	»	12,7	136,3	0,0169		
1,45	»	993,0	145,00	»	12,7	132,3	0,0162		
2,30	»	1076,0	157,00	»	12,7	144,3	0,0178		Données pour la formule du compteur.
2,32	»	1050,0	153,50	»	12,7	140,8	0,0174		$R = 0^m,450$,
2,32	»	1107,0	161,50	»	12,7	148,8	0,0184		$r' = 0^m,0745$, $\rho = 0^m,026$,
2,47	»	1112,0	162,50	»	12,7	149,8	0,0185		$k = 3774$, $R' = 0^m,194$ $Fe = 146N$.
3,57	»	1143,0	167,50	»	12,7	154,8	0,0191		
3,71	»	1258,0	184,00	»	12,7	171,3	0,0212		
3,57	»	1234,0	180,50	»	12,7	167,8	0,0207		
3,71	»	1127,0	164,50	»	12,7	151,8	0,0187		
1,27	»	»	110,75	»	12,0	95,5	0,0124	$\frac{P'}{p'}+\frac{P''}{p''}=7734.$	Pl. II, Fig. 8.
1,27	»	»	114,35	»	12,0	102,0	0,0128		
2,40	»	»	120,60	»	12,5	108,1	0,0136	$\frac{P'}{p'}+\frac{P''}{p''}=7959.$	
2,46	»	»	112,25	»	12,5	99,8	0,0125		
3,70	»	»	133,70	»	12,7	121,0	0,0150	$\frac{P'}{p'}+\frac{P''}{p''}=8103.$	
3,80	»	»	130,50	»	12,7	118,5	0,0146		
1,40	»	»	163,70	»	12,0	151,7	0,0196		
1,50	»	»	186,00	»	12,0	174,0	0,0225		
2,60	»	»	202,50	»	12,7	189,8	0,234		
2,70	»	»	196,50	»	12,7	173,8	0,215		
2,80	»	»	192,25	»	12,7	179,5	0,0222		

Suite des *Expériences* *sur l'influence de la*

N°s des expériences	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Diamètre des roues de devant.	Diamètre des roues de derrière.	Largeur des jantes.	Pression sur le sol. P_1	Pression sur les essieux de devant. p'	Pression sur les essieux de derrière. p''	Nombre de chevaux.	Allure.
			m	m	m	m	kil	kil	kil		
141	Même route, sur l'accotemeᵗ une ornière de 0,10 à 0,15.	Même voiture.	300	0,909	1,400	0,110	4597	1854	2309	4	Pas
142											Trot
143	Route de Thionville un peu humide, bien roulante, sans boue, avec cailloutage à fleur du sol.	*Idem.*	300	0,900	1,400	0,110					
144							2300	959	874	2	Pas
145											
146											
147							3700	1375	1858	2	Pas
148							3830	1440	1923	2	Pas
149							3830	1440	1923	2	Pas
150							3830	1440	1923	2	Pas
151	Même route sur un accotement rechargé de 0,04 à 0m,05 de gravier.	*Idem.*	420	0,900	1,400	0,110	2300	959	874	4	Pas
152			420				2300	959	874	4	Pas
153			320				5165	2092	2606	4	Trot
154			420				2300	959	874	4	Galop
155	Pavé en grès de Sierck, de la rue d'Asfeld à Metz	*Idem.*	184	0,900	1,400	0,110	4480	1794	2249	»	Pas
156							4402	1734	2244	»	Pas
157	*Idem.*	*Idem.*									
158							4402	1734	2244	»	Pas alongé
159											
160	*Idem.*	*Idem.*									
161							4597	1854	2309	»	Trot
162											
163											
164	*Idem.*	*Idem.*									
165							4597	1854	2309	»	Trot alongé
166											
167											

vitesse sur la résistance au tirage des voitures.

VITESSE. V	PENTE par mètre courant. $\frac{h}{L}$	NOMBRE de tours de la roulette correspondant à la distance parcourue.	EFFORT exercé par le moteur parallèlement au plan de la route.	EFFORT EMPLOYÉ à vaincre la gravité.	EFFORT EMPLOYÉ à vaincre le frottement des essieux.	RÉSISTANCE au roulement. R	VALEUR du coefficient. A	DONNÉES et formule employée.	OBSERVATIONS.
m	m		kil	kil	kil	kil			
1,35	»	»	204,25	»	12,7	191,7	0,0236		
2,97	»	»	235,5	»	12,7	222,8	0,0276		
1,50	0,0002	»	48,0	0,4	5,5	42,1	0,0098	$\frac{P'}{r'}+\frac{P''}{r''}=4280.$	
1,50	0,0009	»	51,4	2,0	5,5	43,8	0,0103	*Idem.*	
1,55	0,0011	»	53,3	2,6	5,5	43,2	0,0101	*Idem.*	
1,55	0,0024	»	51,5	5,6	5,5	51,6	0,0120	*Idem.*	
1,50	-0,0005	»	70,5	-1,7	9,3	62,8	0,0091	$\frac{P'}{r'}+\frac{P''}{r''}=6880.$	
1,31	0,0026	»	92,0	10,6	9,7	72,1	0,0101		
1,54	0,0000	»	73,0	0,0	9,6	63,4	0,0090	$\frac{P'}{r'}+\frac{P''}{r''}=7130.$	
1,50	0,00105	»	86,7	3,9	9,6	67,7	0,0095		
1,34	-0,0022	»	186,8	-5,1	5,5	186,4	0,0436	$\frac{P'}{r'}+\frac{P''}{r''}=4280.$	
1,43	0,0025	»	195,0	5,75	5,5	183,7	0,0429	*Idem.*	
2,38	0,0025	»	479,5	12,9	13,7	452,9	0,0478	$\frac{P'}{r'}+\frac{P''}{r''}=\begin{cases}9500.\\4280.\end{cases}$	
4,50	0,0023	»	208,0	5,4	5,5	197,1	0,0462		
1,27	0,0069	»	110,2	31,4	12,2	66,6	0,0084	$\frac{P'}{r'}+\frac{P''}{r''}=7850.$	Pl. II, Fig. 10.
1,26	0,0069	»	107,0	30,5	12,0	64,5	0,0082	$\frac{P'}{r'}+\frac{P''}{r''}=7724.$	
1,53	»	»	110,2	30,5	12,0	67,7	0,0086	*Idem.*	
1,60	»	»	113,5	30,5	12,0	71,0	0,0090	*Idem.*	
1,60	»	»	115,6	30,5	12,0	73,1	0,0093	*Idem.*	
2,42	»	»	127,2	31,7	12,7	82,8	0,0102	$\frac{P'}{r'}+\frac{P''}{r''}=8103.$	
2,42	»	»	128,5	31,7	12,7	84,1	0,0104	*Idem.*	
2,45	»	»	132,5	31,7	12,7	88,1	0,0109	*Idem.*	
2,48	»	»	134,0	31,7	12,7	89,6	0,0110	*Idem.*	
3,40	»	»	168,0	31,7	12,7	123,6	0,0152	*Idem.*	
3,47	»	»	163,5	31,7	12,7	119,1	0,0147	*Idem.*	
3,53	»	»	161,5	31,7	12,7	117,1	0,0144	*Idem.*	
3,83	»	»	157,0	31,7	12,7	112,6	0,0139	*Idem.*	

Suite des *Expériences sur l'influence de la*

Nos DES EXPÉRIENCES.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE parcourue.	DIAMÈTRE des roues de devant.	DIAMÈTRE des roues de derrière.	LARGEUR des jantes.	PRESSION sur le sol. P_1	PRESSION sur les essieux de devant. P'	PRESSION sur les essieux de derrière. P''	NOMBRE de chevaux.	ALLURE.
			m	m	m	m	kil	kil	kil		
168							3145	1353,7			Pas
169							3145	1353,7			
170							3210	1418,7			
171	Pavé en grès de Fontainebleau, rue Stanislas, à Paris, en bon état.	Chariot des messagerᵉˢ générales suspendu sur six ressorts	213	0,84	1,18	0,080	3210	1418,7	1582,2	2	Pas alongé
172							3210	1418,7			
173							3210	1418,7			Trot
174							3210	1418,7			
175							3210	1418,7			Trot alongé
176							3210	1418,7			
177							3210	1418,7			
178							3210	1418,7			Pas
179	Même pavé.	Même chariot non suspendu.	213	0,84	1,18	0,080	3145	1353,7	1582,2	2	Pas alongé
180							3145	1353,7			Trot
181							3145	1353,7			
182							3355,9	1353,7			
183							3355,9	1353,7			Pas
184							3355,9	1353,7			Pas alongé
185	Même pavé.	Même chariot suspendu sur six ressorts	213	1,18	1,50	0,080	3420	1458,7	1582,2	2	
186							3420	1458,7			Trot
187							3420	1458,7			Trot alongé
188							3420	1458,7			
189											Pas
190											
191											
192											Pas alongé
193	Même pavé.	*Idem.*	213	1,18	1,50	0,080	3420	1458,7	1582,2	2	
194											Trot
195											
196											Trot alongé
197											

vitesse sur la résistance au tirage des voitures.

VITESSE. V	PENTE par mètre courant. $\frac{h}{L}$	NOMBRE de tours de la roulette correspondant à la distance parcourue.	EFFORT exercé par le moteur parallèlement au plan de la route.	EFFORT EMPLOYÉ à vaincre la gravité.	EFFORT EMPLOYÉ à vaincre le frottement des essieux.	RÉSISTANCE au roulement. R	VALEUR du coefficient. A	DONNÉES et formule employée.	OBSERVATIONS.
m	m		kil	kil	kil	kil			
1,24	0,01856	»	144,0	58,37	9,13	76,60	0,0116	$\rho' = \rho'' = 0,031$. $p' = 148^k$, $p'' = 205^k$	
1,45	0,01856	»	146,0	58,37	9,13	78,50	0,0119	$\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''} = 6604,6$	
								$\cos\alpha = 0,975$.	
1,59	0,01856	»	149,5	58,59	9,37	81,54	0,0121		
1,70	0,01856	»	153,0	58,59	9,37	85,00	0,0126		
2,31	0,01856	»	161,5	58,59	9,37	93,54	0,0132		
2,36	0,01856	»	161,0	58,59	9,37	93,04	0,0139	$\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''} = 6759$.	
3,00	0,01856	»	176,0	58,59	9,37	108,04	0,0160		
3,17	0,01856	»	176,5	58,59	9,37	108,54	0,0161		
3,60	0,01856	»	183,5	58,59	9,37	115,54	0,0171		
1,29	0,01856	»	156,0	58,59	9,37	88,04	0,0130	$\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''} = 6759$.	
1,26	0,01856	»	154,5	58,59	9,37	86,54	0,0128		
1,60	0,01856	»	177,0	58,59	9,37	109,04	0,0165		
2,05	0,01856	»	189,5	58,59	9,37	122,00	0,0185	$\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''} = 6604,6$.	
2,29	0,01856	»	215,0	58,59	9,37	147,04	0,0223		
1,05	0,01856	»	133,0	63,23	6,81	57,00	0,0113	$p' = 205^k$, $p'' = 215^k$	
1,15	0,01856	»	135,0	63,23	6,81	59,00	0,0117	$\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''} = 5038$.	
1,61	0,01856	»	138,0	63,23	6,81	62,00	0,0123		
2,44	0,01856	»	144,5	63,23	6,98	68,50	0,0129		
2,56	0,01856	»	148,5	63,23	6,98	72,50	0,0136	$\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''} = 5317$.	
3,00	0,01856	»	153,2	63,23	6,98	77,20	0,0145		
3,37	0,01856	»	161,0	63,23	6,98	85,20	0,0160		
1,16	0,01856	68,0	127,5	63,63	6,98	56,90	0,0107		
1,14	0,01856	66,7	125,3	63,63	6,98	54,70	0,0103		
1,60	0,01856	71,0	133,5	63,63	6,98	62,90	0,0118		
1,65	0,01856	70,3	132,2	63,63	6,98	61,60	0,0115	$\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''} = 5317$.	Expériences faites avec le dynamomètre à compteur.
2,39	0,01856	76,5	144,0	63,63	6,98	73,40	0,0138		
2,42	0,01856	75,8	142,5	63,63	6,98	71,90	0,0135		
3,08	0,01856	86,4	162,7	63,63	6,98	92,10	0,0173		
3,38	0,01856	85,0	160,0	63,63	6,98	89,40	0,0167		
3,38	0,01856	86,5	162,8	63,63	6,98	92,20	0,0173		

36. *Examen des résultats contenus dans le tableau précédent.* Si l'on examine d'abord, parmi les résultats de ce tableau, ceux qui sont relatifs aux voitures non suspendues, telles que les charrettes et chariots à quatre roues, les affûts, etc., on voit que sur les terrains mous ou mobiles, tels que le gazon plus ou moins sec ou humide, ou les rechargemens épais de gravier ou de décombres, sur des fonds un peu compressibles, les accotemens des routes ou les chemins en empierrement de gravier fin, peu raffermis, comme ceux qui sont peu fréquentés, *la résistance au roulement est indépendante de la vitesse;* ce qui tient à ce que, dans tous ces cas, il y a simplement compression du sol, sans choc et sans perte de vitesse du véhicule, et sans communication de vitesse au milieu comprimé.

Mais il n'en est plus de même lorsque le sol devient plus dur, et présente des inégalités, comme les routes en empierrement le mieux entretenues, celles qui présentent de gros cailloux à fleur du sol, et le pavé. Il se produit alors des chocs à chaque instant, et la voiture perd une portion de sa vitesse, qui doit lui être restituée par le moteur.

37. *Loi de la variation de la résistance en fonction de la vitesse sur les terrains durs.* Si l'on construit pour chaque série les résultats immédiats des expériences, en prenant les vitesses pour abscisses et les valeurs du coefficient A pour ordonnées, on reconnaît de suite que les points, ainsi déterminés, sont sur une même ligne droite inclinée, ce qui montre que la résistance croît proportionnellement à la vitesse, ou que les accroissemens de résistance sont proportionnels à ceux de la vitesse. Par conséquent, les valeurs de A seront données par une expression de la forme

$$A = \gamma + \delta (V - V'),$$

dans laquelle

γ sera une quantité constante exprimant en kilogrammes la valeur de A relative à la vitesse V',

et δ un coefficient numérique constant pour chaque route à un état donné et pour une même voiture.

Les lignes droites qui représentent la loi de la variation de A nous fournissent immédiatement les valeurs de γ et de δ.

En effet, en prenant pour terme de comparaison la vitesse d'un mètre par seconde à peu près, qui est celle du pas ordinaire d'un cheval de roulage assez fortement chargé, on trouve pour les charrettes, affûts et chariots les valeurs suivantes relatives aux différens terrains.

VOITURES employées.	DÉSIGNATION et état des routes.	VALEURS de γ	VALEURS de δ	VALEURS DU COEFFICIENT. A.
Chariot d'artillerie à quatre roues.	Route de Metz à Thionville, sèche, en bon état, avec cailloutage à fleur du sol.	0,0082	0,0031	$A = 0,0082 + 0,0031\,(V-1)$.
Affût de 16 de siége.	Route de Metz à Nancy près de Montigny, sèche, en parfait état, très-unie, entretenue avec de petits cailloux.	0,0110	0,0021	$A = 0,0110 + 0,0021\,(V-1)$.
Appareil avec arbre en fonte formant charrette.	Pavé en grès de Sierck, en très-bon état, rampe devant l'école d'Artillerie à Metz.	0,0084	0,0059	$A = 0,0084 + 0,0059\,(V-1)$.
Affût de 16 de siége.	Même pavé, rue d'Asfeld....	0,0066	0,0060	$A = 0,0066 + 0,0060\,(V-1)$.
Chariot d'artillerie.	*Idem.*	0,0066	0,0054	$A = 0,0066 + 0,0054\,(V-1)$.
Chariot des messageries générales (avec ressorts calés).	Pavé en grès de Fontainebleau, rue Stanislas à Paris.	0,0104	0,0093	$A = 0,0104 + 0,0093\,(V-1)$.

38. *Influence de la vitesse sur la résistance éprouvée par les voitures suspendues.* Si nous passons aux résultats relatifs aux voitures suspendues, nous voyons que, sur les accotemens en terre, la résistance est indépendante de la vitesse, même quand il y a des ornières de $0^{m},06$ et de $0^{m},10$ à $0^{m},15$ de profondeur, et quoique dans ces expériences l'une des roues portât sur une partie solide voisine du milieu de la chaussée. Il en est par conséquent de même, à plus forte raison, sur tous les sols mous ou rechargés de matériaux mobiles.

Sur les routes en empierrement, un peu humide, en bon état, comme celle de Metz à Nancy, entre les villages de Jouy et de Montigny, sur la même route mouillée et couverte d'un peu de boue, et enfin sur celle de Metz à Thionville mouillée, couverte d'un peu de boue, et avec cailloutage à fleur du sol, nous voyons l'influence de la vitesse s'accroître graduellement à mesure que la route devient plus dure.

On trouve, en effet, par le tracé, qu'avec les voitures suspendues des messageries générales on a les résultats suivans :

8

VOITURES employées.	DÉSIGNATION et état des routes.	VALEURS de γ	VALEURS de δ	VALEURS DU COEFFICIENT. A.
Diligence des messageries générales.	Route de Metz à Thionville, mouillée, couverte de boue, avec caillootage à fleur du sol.	0,0128	0,00345	$A = 0{,}0128 + 0{,}00345\,(V-1)$.
Calèche construite par M. Erbler.	Même route sèche..........	0,0152	0,00190	$A = 0{,}0152 + 0{,}00190\,(V-1)$.
Diligence des messageries générales.	Route de Metz à Nancy, mouillée avec un peu de boue et un peu de cailloutage à fleur du sol.	0,0152	0,00180	$A = 0{,}0152 + 0{,}00180\,(V-1)$.
Idem.	Même route à peu près sèche..	0,0122	0,00100	$A = 0{,}0122 + 0{,}00100\,(V-1)$.
Idem.	Pavé en grès de Sierck, rue d'Asfeld à Metz.	0,0076	0,00280	$A = 0{,}0076 + 0{,}00280\,(V-1)$.
Chariot des messageries générales suspendu sur six ressorts.	Pavé en grès de Fontainebleau, rue Stanislas à Paris, en bon état.	0,0104	0,00230	$A = 0{,}0104 + 0{,}00230\,(V-1)$.

Nous ferons observer que les routes de Metz à Thionville et à Nancy, qui sont signalées ici comme mouillées et couvertes de boue liquide, étaient, sous ce rapport et sous celui de l'entretien à très-peu près au même état, lors des expériences, et que la différence des valeurs du terme constant, γ, qui sont $\gamma = 0{,}0128$ pour la première, et $0{,}0152$ pour la seconde, peut être attribuée à ce que le fond de la route de Thionville, formé de gros cailloux, est peut-être plus ferme que celui de la route de Nancy.

39. *Influence de la suspension sur la résistance.* Après avoir examiné l'influence de la vitesse sur les différens terrains, et pour une même sorte de voiture, comparons-la pour les voitures suspendues et celles qui ne le sont pas.

Pour tous les terrains mous, unis et compressibles, la suspension est sans influence, et la résistance est indépendante de la vitesse.

Sur les routes dures et à la vitesse du pas, l'influence de la suspension paraît très-faible, puisque l'on trouve, sur les routes en empierrement dures et sur le pavé, à peu près la même valeur de A pour les voitures les plus dures,

telles que les affûts et charrettes, que pour les diligences le mieux suspendues.

Sur les routes en empierrement, nous voyons que l'influence de la vitesse ou la valeur du terme, $\delta(V-1)$, diminue à mesure que la suspension devient plus parfaite, ainsi l'on a sur les routes en empierrement en bon état et sèches

$\delta = 0{,}0021$ avec l'affût de siége qui est un chariot très-rigide, à cause de la forte dimension de la flèche qui réunit les deux trains,

$\delta = 0{,}00100$ avec la diligence.

La même graduation s'observe sur le pavé. On a, en effet, sur celui de Metz

$\delta = 0{,}0060$ avec l'affût de siége,

$\delta = 0{,}0059$ avec l'appareil formant charrette,

$\delta = 0{,}0054$ avec le chariot d'artillerie,

$\delta = 0{,}0028$ avec la diligence;

et sur celui de Paris

$\delta = 0{,}0093$ avec le chariot des messageries générales non suspendu,

$\delta = 0{,}0023$ avec le même chariot suspendu sur six ressorts.

Ces résultats montrent donc d'une manière évidente les avantages de la suspension des voitures pour la diminution de la portion de la résistance qui dépend de la vitesse.

On voit, au surplus, que pour les voitures suspendues la résistance sur les bonnes routes, et sur un pavé bien régulier, n'augmente pas très-rapidement avec la vitesse, mais qu'il n'en est pas de même sur les routes dures avec cailloutage à fleur du sol. On déduit, en effet, des résultats précédens les valeurs suivantes du coefficient A.

Voitures employées.		Valeurs du coefficient A.					
Vitesses....	en mètres, en 1″..........	m 1,00	m 1,50	m 2,00	m 2,50	m 3,00	m 3,50
Vitesses....	en lieues à l'heure.........	lieues. 0,90	lieues. 1,35	lieues. 1,80	lieues. 2,25	lieues. 2,70	lieues. 3,15
Diligences... Route de Metz à Nancy.	un peu humide	k 0,0122	k 0,0127	k 0,132	k 0,0137	k 0,0148	k 0,0147
Diligences... Route de Metz à Nancy.	mouillée.....	0,0152	0,0161	0,0170	0,0179	0,0188	0,0191
Diligences...	Route de Thionville, mouillée..	0,0128	0,01453	0,01626	0,01798	0,01970	0,0214
Calèche de M. Erhler,	*id.* sèche....	0,0152	0,0161	0,01710	0,0180	0,0190	0,0199
Diligence.	Pavé en grès de Sierck à Metz.....	0,0076	0,0090	0,01040	0,0118	0,0132	0,0146
Chariot des messageries générales, suspendu sur six ressorts.	Pavé en grès de Fontainebleau, à Paris.	0,0104	0,0116	0,01270	0,0138	0,0150	0,0161

40. Il est à remarquer, dans ces résultats, que la résistance totale éprouvée par les voitures suspendues sur le pavé de Metz est beaucoup moindre au petit pas, à la vitesse de 1 mètre, que sur les meilleures routes en empierrement, et qu'à la vitesse de $3^{m},50$ en 1″, ou $3^{lieues},15$ à l'heure, elle lui est au plus égale, tandis que, dès que les routes en empierrement commencent à être mouillées, ou à offrir des cailloux à fleur du sol, cette résistance y devient de suite beaucoup plus grande que sur le pavé.

On ne sera pas étonné de cette conséquence, si l'on observe que le pavé en grès de Sierck, sur lequel on a opéré, est parfaitement exécuté et composé de petites pierres de $0^{m},08$ à $0^{m},10$ de large environ sur $0^{m},12$ à $0^{m},15$ de longueur, taillées carrément, et que, malgré ses inégalités apparentes, il offre en réalité aux voitures un sol beaucoup plus uni que les routes en empierrement, où il y a des cailloux à fleur de sol, quoique celles-ci paraissent plus roulantes; car un caillou en saillie de $0^{m},03$ à $0^{m},04$ seulement produit un choc bien plus sensible que le passage d'un pavé à l'autre, attendu que les roues posent toujours sur les points les plus élevés des pavés, et que les différences de niveau de ces divers points sont très-faibles sur les chaussées pavées en bon état.

41. *Avantages des routes pavées.* Il en est encore à peu près de même sur le pavé de Paris, en grès de Fontainebleau, lorsqu'il est en bon état, puisque nous voyons qu'à la vitesse de 3 mètres en 1″, ou 2,70 lieues à l'heure, la

valeur de A est égale à 0,0150 sur ce pavé, et qu'elle est de 0,0142 sur une route sèche, et de 0,0188 sur une route mouillée.

Ainsi aux allures vives, la résistance éprouvée par les voitures suspendues sur un bon pavé n'est pas supérieure à celle qui serait occasionnée par une route en empierrement en bon état, et, si l'on observe que cette résistance est à très-peu près la même en toute saison sur le pavé, tandis qu'en hiver elle augmente beaucoup sur les routes en empierrement, on reconnaitra les avantages du premier mode de construction des routes. Mais, pour qu'ils soient aussi grands que nous l'avons trouvé, on ne doit pas perdre de vue que le pavé doit être dur, bien posé et bien serré.

42. *Supériorité du pavé de Metz sur celui de Paris.* Si l'on compare la valeur de $\delta = 0{,}0054$, obtenue sur le pavé de Metz avec le chariot d'artillerie, à celle $\delta = 0{,}0093$ qui a été fournie par le pavé de Paris, avec le chariot non-suspendu des messageries générales, on reconnaitra combien le pavé dur, égal et serré, employé dans la première ville, est supérieur à celui de la seconde, et combien celui-ci aurait besoin d'être amélioré.

43. *Avantage de la suspension des trains.* Il est à remarquer que, malgré cette infériorité du pavé de Paris, on n'a trouvé sur ce pavé que $\delta = 0{,}0023$ pour le chariot à trains suspendus des messageries, tandis que sur celui de Metz on a obtenu $\delta = 0{,}0028$ avec la diligence des mêmes messageries dont les trains ne sont pas suspendus. Ainsi l'avantage de la suspension des trains a compensé l'excès d'inégalité du pavé de Paris. On voit donc que ce genre de construction est favorable à l'économie de la puissance motrice en même temps qu'à la conservation des voitures.

44. *Les routes entretenues avec de très-petits matériaux souffrent moins que les autres de la rapidité des transports.* La perte de vitesse éprouvée par une voiture est toujours en rapport avec l'intensité du choc qui la produit, et, par conséquent, avec l'effort exercé pendant ce choc sur l'obstacle ou sur les matériaux de la route. Les effets de désagrégation doivent donc croître en même temps que les pertes de vitesse ou les valeurs du terme $\delta(V-1)$. Il suit de cette observation que les routes entretenues avec des matériaux de petites dimensions sont celles qui souffrent le moins de la rapidité des transports.

45. *Dans l'intérêt de la conservation des routes, on ne doit pas tolérer de services de messageries non-suspendues.* De plus, la grande valeur qu'atteint le terme $\delta(V-1)$ avec les voitures non-suspendues, sur les routes en

empierrement, et à plus forte raison sur les routes pavées, même quand elles sont très-sèches et en très-bon état, fait voir que, dans l'intérêt de la conservation des routes, il ne faut pas tolérer de service de messageries ou de transport par voitures non-suspendues allant au trot, même quand l'élasticité de leurs brancards tendrait à en diminuer un peu les inconvéniens.

46. *La suspension doit être d'autant plus parfaite que les voitures doivent marcher plus vite.* Nous avons vu que l'influence des chocs diminuait à mesure que la suspension était plus parfaite, et, comme elle croît, au contraire, avec la vitesse, il s'ensuit que les voitures les plus rapides devraient être les mieux suspendues. Le service public des malles-postes, qui laisse tant à desirer aux voyageurs sous ce rapport, et dont les voitures sont bien plus dures que celles des grandes entreprises de messageries, devrait donc aussi, dans l'intérêt de la conservation des routes, recevoir, dans l'élasticité de sa suspension, des améliorations proportionnées à celles qu'il acquiert chaque jour dans sa rapidité.

47. *Valeur du coefficient A de la formule du N° 16 en fonction de la largeur de la bande de roue et de la vitesse.* Pour lier entr'eux les résultats des diverses séries d'expériences que nous venons de discuter, tant sur l'influence de la largeur des jantes que sur celle de la vitesse de transport, nous remarquerons d'abord que dans toutes celles qui ont été faites sur des terrains mous, la vitesse étant sans influence, on a $\delta = 0$, et que la valeur de γ est celle qui a été trouvée pour A en fonction de la largeur de jante. On a donc

$$\gamma = a + \epsilon (l' - l)$$

Il est encore de même pour les expériences sur les terrains durs, attendu que les expériences sur l'influence de la largeur des jantes ont été faites à la vitesse moyenne de 1 mètre par seconde, ce qui donne $V - 1 = 0$.

Par conséquent, l'expression générale du coefficient A sera

$$A = a + \epsilon (l' - l) + \delta (V - 1).$$

On a trouvé pour les divers terrains les valeurs suivantes de a et de ϵ correspondantes à $l' = 0^{m},280$.

DÉSIGNATION DU TERRAIN.	VALEURS de	
	a	α
Sable mêlé de gravier fin sur une épaisseur de $0^m,10$ à $0^m,15$	0,0510	0,1423
Pelouse de gazon, terre molle et humide	0,0380	0,0710
Gazon sec	0,0242	0,0453
Chemin en gravier uni, mais peu fréquenté et humide	0,0308	0,0072
Route en empierrement ferme	0,0092	0,00606
Chaussée pavée en grès quartzeux de Sierck, à Metz	0,0076	0,00000
Chaussée pavée en grès de Fontainebleau, à Paris	0,0104	0,00000

Si, à l'aide de ces valeurs de a et de α, nous calculons celles que prendrait A à la vitesse d'un mètre, et pour des largeurs respectives de jantes de $0^m,07$, de $0^m,12$ et de $0^m,17$, qui comprennent à peu près les cas extrêmes de la pratique, nous aurons les valeurs contenues dans le tableau suivant.

DÉSIGNATION DU TERRAIN.	VALEUR DE A POUR DES LARGEURS de jantes de		
	$0^m,07$	$0^m,12$	$0^m,17$
Sable fin mêlé de gravier, sur une épaisseur de $0^m,10$ à $0^m,15$	0,0809	0,0738	0,0666
Gazon humide sur un sol mou	0,0529	0,0494	0,0458
Gazon sec sur un sol ferme	0,0337	0,0314	0,0292
Chemin en gravier uni, humide, peu fréquenté	0,0323	0,0320	0,0316
Route en empierrement, en bon état, sèche	0,0104	0,0101	0,0099
Chaussée pavée en grès quartzeux de Sierck	0,0076	0,0076	0,0076
Chaussée pavée en grès de Fontainebleau, à Paris	0,0104	0,0104	0,0104

L'examen de ce tableau montre que l'augmentation de la largeur des jantes entre les limites adoptées jusqu'ici par la pratique n'a d'influence notable pour la diminution de la résistance que dans les terrains mous ou mobiles, mais que, dès que le sol devient ferme, comme celui des routes ordinaires, la résistance varie très-peu entre ces limites de largeur.

48. *Accord des expériences de divers auteurs avec les précédentes.* Les nombreux résultats d'expériences que nous avons rapportés, et leur représentation graphique, ont mis en évidence, d'une manière qui nous semble incontestable, la loi de l'accroissement de la résistance proportionnellement à celui de la vitesse. Cette loi n'étant pas celle qui a été déduite par divers auteurs des expériences faites par MM. Edgeworth, de Rumford et J. Macneill, j'ai cherché à comparer ces résultats avec ceux qui j'avais obtenus, et à cet effet, employant toujours la méthode si commode des tracés, j'ai de suite reconnu que toutes ces expériences conduisaient à la conséquence que j'avais déduite des miennes. C'est ce qu'il est facile de montrer.

Les expériences de M. Edgeworth ont été faites avec un modèle de voiture, mu par des poids sur un plan horizontal de 75 pieds anglais de longueur, sur lequel on avait fixé une trentaine de petits liteaux pour former des obstacles. Le mouvement de descente des poids moteurs était régularisé par l'action d'un volant, et l'on déterminait à l'avance la portion de ce poids qui était nécessaire, à chaque vitesse, pour vaincre les résistances passives de l'appareil, et en la déduisant de la totalité, on obtenait le poids qui suffisait pour entretenir le mouvement de la voiture. Ce modèle pouvait à volonté être suspendu sur ressorts ou devenir rigide. Les résultats de ces expériences, extraits de l'ouvrage de M. Edgeworth (2[e] édition, page 114 et suivantes), sont resumés ci-dessous.

EXPÉRIENCES de M. Edgeworth sur la variation de la résistance en fonction de la vitesse et sur l'influence des ressorts.

VITESSES en milles par heure.	RÉSISTANCE ÉPROUVÉE par la voiture	
	Suspendue.	Non suspendue.
milles.	liv. avoir p.	liv. avoir p.
2	$4\frac{1}{2}$	6
$3\frac{3}{4}$	5	$7\frac{1}{2}$
$5\frac{1}{2}$	6	12

En représentant ces résultats Pl. II, Fig. 14, on voit que pour l'un et

l'autre cas les points, dont les abscisses sont les vitesses en milles, et les ordonnées les poids moteurs en livres, sont sensiblement en ligne droite, ce qui est d'accord avec mes expériences.

Le comte de Rumford (Sir Benjamin Thompson) a présenté, en 1811, à la première classe de l'Institut les résultats des expériences qu'il avait exécutées avec une voiture suspendue sur la route de Passy à Sèvres. Son but principal était de reconnaître l'avantage que les larges jantes présentent, même sur le pavé; mais comme il a fait varier la vitesse, ses expériences sont aussi intéressantes sur ce point de vue.

Les résultats en sont consignés dans la Bibliothèque britannique, année 1811, et sont rapportés dans l'avant-propos de ce Mémoire. L'auteur n'y indique les vitesses que par l'allure; mais, nos expériences nous ayant fourni la vitesse moyenne correspondante à chaque allure, il nous est facile de remplir cette lacune, et nous adopterons pour vitesse du

Petit pas	$1^{m},25$,
Pas allongé	$1^{m},55$,
Petit trot	$2^{m},40$,
Grand trot	$3^{m},65$.

Prenant ensuite ces vitesses pour abscisses, et les résistances observées par le comte de Rumford, à l'aide d'un dynamomètre à ressort et à aiguille pour ordonnées, on peut construire les figures 16 et 17, Pl. II: on reconnaît à leur inspection que la résistance sur le pavé a crû proportionnellement aux accroissemens de la vitesse, puisque les points ainsi déterminés sont en ligne droite.

Les figures 16 sont relatives aux expériences faites sur la route pavée de Passy au pont de Sèvres, et les figures 17 à celles qui ont été exécutées sur l'accotement de cette route. Ces dernières montrent comme les nôtres que sur les accotemens la résistance est à peu près indépendante de la vitesse.

Enfin, M. J. Macneill a exécuté quelques expériences rapportées par M. Navier, qui en a traduit les résultats en mesures françaises. Elles ont été faites sur une diligence du poids de 914 kilogrammes, conduite sur une route en empierrement.

Expériences de M. J. Macneill sur le tirage d'une diligence sur une route en empierrement.

VITESSES en lieues à l'heure.	RÉSISTANCES en kilogrammes.
1	35
2,4	48
3,2	52

La représentation graphique de ces résultats, Pl. II, Fig. 15, montre encore la même relation entre la vitesse et la résistance.

Ainsi les expériences déjà connues sont complètement d'accord avec celles que j'ai exécutées, et quoique ces dernières, nombreuses et variées, faites avec des instrumens plus précis que ceux qui ont été employés par les autres observateurs, me paraissent concluantes, il n'en était pas moins utile de montrer cette coïncidence.

Il est singulier qu'une loi si simple, si bien manifestée par les résultats de l'expérience, n'en ait pas été déduite, et l'on ne peut l'attribuer qu'à l'usage où sont beaucoup de personnes de chercher à lier les données de l'expérience par le calcul avant de les représenter par des tracés qui, outre l'avantage de les soumettre à la continuité et de faire découvrir les anomalies, ont aussi celui de montrer souvent de suite les lois des phénomènes observés.

49. *Observations relatives aux expériences du comte de Rumford.* Puisque j'ai parlé des expériences du comte de Rumford sur l'avantage des jantes larges sur le pavé, je dois faire remarquer qu'elles ont été faites avec des bandes de roue de 4^{po}, $2^{po}\ 3^{li}$ et $1^{po}\ 9^{li}$. Il est bon de faire observer que sur le pavé de Paris, et surtout sur celui des routes voisines, les roues très-étroites descendent sans cesse, soit dans le sens du mouvement, soit dans le sens transversal, dans les intervalles de ces pavés, tandis que des roues un peu plus larges ne peuvent atteindre le fond de ces intervalles, ce qui empêche la voiture d'éprouver des chocs aussi violens. Mais cet effet n'a lieu, comme on le voit, que jusqu'à une certaine limite de largeur d'autant plus rapprochée que le pavé est plus égal et mieux posé, et passé laquelle la largeur de la jante est sans influence sur la résistance.

50. *Simplification de la valeur du coefficient A de la résistance pour les routes ordinaires.* D'après les observations précédentes, on voit donc que sur les routes ordinaires l'expression de la résistance, à la vitesse d'un mètre en une seconde pourra être simplifiée en adoptant pour γ sa valeur relative aux jantes de $0^{m},12$ comme une moyenne. Les autres expériences sur le tirage ayant été faites avec des jantes de $0^{m},10$ à $0^{m},11$, et sur des routes en empierrement et du pavé, nous pourrons ainsi réduire pour toutes les largeurs voisines de ces dimensions la valeur de A :

$$A=\gamma+\delta(V-1).$$

Nous réunirons plus tard dans un seul tableau les diverses valeurs de γ selon les largeurs de jantes, ainsi que celles de δ, ce qui permettra de calculer pour chaque cas celle du coefficient A.

51. *Equation approximative du mouvement d'une voiture dans les cas ordinaires.* Il sera donc facile pour chaque sol et chaque vitesse de transport de calculer la résistance au roulement éprouvée par les diverses voitures, quand on connaîtra leur charge, les dimensions des roues et la répartition du chargement sur les essieux, puisque les formules admises au N° 16 sont complètement vérifiées, et qu'on a pour les voitures à quatre roues

$$R=A\left(\frac{P'_1}{r'}+\frac{P''_1}{r''}\right),$$

et pour les charrettes

$$R=\frac{P+p}{r}=A\,\frac{P_1}{r'},$$

Par conséquent, dans l'expression générale de l'effort que le moteur doit exercer dans le sens parallèle au plan du terrain, pour traîner la voiture,

$$F\cos\alpha=A\left(\frac{P'+p'}{r'}+\frac{P''+p''}{r''}\right)\pm(P+p'+p'')\frac{h}{l}+\frac{f'\rho'P'}{r'}+\frac{f''\rho''P''}{r''},$$

on connaîtra toutes les quantités nécessaires pour la déterminer, puisque la pente du terrain doit être donnée, et qu'on a les valeurs de f', f'', ρ', ρ'', r', r'', P', P'', p' et p'', ainsi que l'angle α du tirage.

52. *Les expériences précédentes confirment les lois déjà trouvées relativement à la pression et aux rayons des roues.* Les expériences consignées dans le dernier tableau nous fournissent la vérification des lois déjà établies par les séries précédentes d'une manière directe. La proportionnalité de la résis-

tance à la pression s'y manifeste de nouveau, car l'on voit qu'au pas, sur la route de Thionville, on a eu les résultats suivans.

DÉSIGNATION DE LA VOITURE.	PRESSION.	VALEURS DE A.
Chariot d'artillerie	2550	0,0096
	2497	0,0095
	3022	0,0101
Diligences des messageries générales	2300	0,0100
	3700	0,0100
	3830	0,0100

Ces résultats montrent en outre que la résistance est en elle-même indépendante de la suspension, aux faibles vitesses.

La loi du rapport inverse de la résistance aux rayons des roues se vérifie aussi par l'examen de ce tableau, car on y trouve les résultats suivans, relatifs à la vitesse du pas.

DÉSIGNATION de la route.	VOITURE EMPLOYÉE.	PRESSION.	VALEURS de A	DIAMÈTRE des roues de devant.	DIAMÈTRE des roues de derrière.
		kil.		m	m
Route de Metz à Nancy, avec un peu de cailloutage à fleur du sol.	Affût de 16 avec sa pièce	3715,0	0,0117	1,564	1,564
	Diligence des messageries générales...	4402,0	0,0126	0,88	1,40
Route de Metz à Thionville.	Diligence des messageries générales...	2300,0	0,0100	0,88	1,40
	Chariot à munitions	2497,0	0,0096	0,88	1,40
Route de la gorge de Belle-Croix.	Appareil avec arbre en fonte. Tableau du n° 26.	1549,6	0,0094	0,787	»

On a déjà vu au N° 37 que sur le pavé, à la vitesse de 1 mètre, on avait trouvé la même valeur 0,0066 pour le terme A avec l'affut de siége et avec

le chariot à munitions; et l'on voit encore que sur le pavé de Paris le coefficient A, dans ses variations avec la vitesse, a eu la même valeur avec des roues de $0^m,84$ et $1^m,18$ de diamètre qu'avec des roues de $1^m,18$ et $1^m,50$.

53. *Influence de l'inclinaison des traits.* Pour compléter ce qui est relatif à la traction proprement dite des voitures, il nous reste à examiner l'influence de l'inclinaison des traits, par rapport au terrain.

A cet effet, on a disposé l'avant-train d'une pièce de siége de 16, de manière que le timon pût, en restant à la même hauteur à son extrémité antérieure, s'abaisser à volonté à son extrémité postérieure, et prendre plusieurs inclinaisons différentes. Le dynamomètre étant fixé au timon lui-même, le tirage était parallèle à cette pièce, et l'on obtenait ainsi des angles de traction qui ont été successivement de

$$1^\circ\,35',\ 3^\circ\,35',\ 6^\circ\,30',\ 8^\circ\,30',\ 11^\circ,\ 13^\circ\,30'.$$

On a fait marcher cette voiture sur le sol du polygone, couvert de gazon, et encore un peu humide, son poids, sa vitesse et toutes les autres circonstances restant d'ailleurs les mêmes.

Pour calculer les résultats de ces expériences, on a employé la formule suivante déduite de celle du N° 13:

$$\text{(A)} \qquad F\cos\alpha L = (R' + R'')L + 0{,}96\frac{f\rho L}{r}(P' + P'' - F\sin\alpha) + \frac{0{,}4f\rho L}{r}(F\cos\alpha + F'),$$

en observant que, pour cette voiture, on a $\rho' = \rho'' = 0^m,038$, $r' = r'' = 0^m,782$, $f = 0{,}05$, et que, le terrain étant horizontal, on avait $h = 0$.

Or, avant d'aller plus loin, nous ferons remarquer qu'attendu la petitesse du terme $\frac{0{,}4f\rho}{r} = 0{,}00194$, on peut évidemment négliger le dernier terme de cette expression, et réduire la valeur de $R' + R''$ qu'on en tire à

$$R' + R'' = F\cos\alpha - \frac{0{,}96f\rho}{r}(P' + P'' - F\sin\alpha),$$

et d'un autre côté, nous savons que

$$R' + R'' = A\left(\frac{P'_1 - F\sin\alpha}{r'} + \frac{P''_1}{r''}\right) = \frac{A(P_1 - F\sin\alpha)}{r'}.$$

On a donc

$$A = \frac{F\cos\alpha - 0{,}96\frac{f\rho}{r}(P' + P'' - F\sin\alpha)}{\frac{P_1 - F\sin\alpha}{r'}} = \frac{F\cos\alpha - 0{,}0023(P' + P'' - F\sin\alpha)}{\frac{P_1 - F\sin\alpha}{r'}},$$

en substituant dans cette expression les données relatives à chaque expérience, on en a déduit les valeurs correspondantes de A. Les données et les résultats de ces expériences sont consignés dans le tableau suivant.

54. *Expériences sur l'influenc*

Nos des expériences	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Diamètre des roues de devant.	Diamètre des roues de derrière.	Largeur des jantes.	Pression sur le sol.	Nombre de chevaux.	Allure
			m	m	m	m	kil		
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9	Sol du polygone de Metz, gazon un peu humide sur un sol homogène.	Affût de 16 avec sa pièce.	157	1,564	1,564	0,100	3715	4	Pas
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									

de l'inclinaison du tirage.

EFFORT MOYEN DU MOTEUR			EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux.	RÉSISTANCE au roulement.	VALEUR du coefficient.	DONNÉES et formule employée.	OBSERVATIONS.
dans le sens de la traction F.	parallèlement au plan de la route. F cos α.	perpendicul' au plan de la route. F sin α.		R	A		
k	kil	kil	kil	kil			
171,0	171,0	4,27	7,25	163,75	0,0346	sin α = 0,0247, cos α = 0,9997.	
171,5	171,4	4,29	7,25	164,25	0,0347	$\frac{P_1 - F \sin \alpha}{r'} = 4745.$	
183,0	183,0	4,57	7,25	175,75	0,0375		
				Moyenne.	0,0356		
177,5	177,0	10,55	7,20	169,80	0,0357	sin α = 0,0596, cos α = 0,9982.	
170,3	170,0	10,13	7,20	162,80	0,0343	$\frac{P_1 - F \sin \alpha}{r'} = 4737.$	
178,0	177,0	10,6	7,20	169,80	0,0369		
				Moyenne.	0,0356		
185,0	184,0	20,9	7,15	176,85	0,0372	sin α = 0,1132, cos α = 0,9936.	
184,0	183,0	20,7	7,15	175,85	0,0375	$\frac{P_1 - F \sin \alpha}{r'} = 4724.$	
171,8	171,0	19,9	7,15	163,85	0,0346		
				Moyenne.	0,0364		
177,0	175,2	26,2	7,13	168,07	0,0356	sin α = 0,1478, cos α = 0,9890.	
179,5	177,5	26,5	7,13	170,37	0,0362	$\frac{P_1 - F \sin \alpha}{r'} = 4717.$	
171,5	170,0	25,1	7,13	162,87	0,0346		
				Moyenne.	0,0356		
179,0	176,2	31,1	7,10	169,1	0,0358	sin α = 0,1736, cos α = 0,9848.	
174,5	172,0	30,3	7,10	164,9	0,0350	$\frac{P_1 - F \sin \alpha}{r'} = 4711.$	
				Moyenne.	0,0356		
168,0	160,7	39,1	7,07	153,68	0,0327	sin α = 0,2334, cos α = 0,9724.	Le sol était un peu plus ferme en cet endroit.
164,5	156,2	36,4	7,07	149,18	0,0318	$\frac{P_1 - F \sin \alpha}{r'} = 4704.$	
159,2	151,9	35,3	7,07	144,88	0,0308		
				Moyenne.	0,0318		

55. *Observations sur les résultats consignés dans le tableau précédent.* L'accord de toutes les valeurs de A aux diverses inclinaisons, et la constance de l'effort exercé par les chevaux dans le sens propre du tirage, montrent 1° que la décomposition et la répartition de l'effort moteur se font exactement comme on l'a établi dans la formule précédente, ce qui permet de discuter les effets de l'inclinaison du tirage d'après cette formule elle-même, comme nous le ferons voir tout à l'heure. 2° Que, sous le rapport de la facilité plus ou moins grande que l'animal peut avoir à développer son action, l'inclinaison du tirage est à peu près sans influence, puisque, sans être stimulés davantage dans un cas que dans l'autre, ils ont développé à peu près le même effort, et imprimé à la voiture la même vitesse.

Maintenant nous ferons remarquer que le travail utile, sous le point de vue du transport, est représenté par

$$F \cos \alpha L,$$

ou par le produit du chemin parcouru par le point d'application et de la composante de l'effort parallèle au sol, ou, ce qui revient au même, par le produit de l'effort et de la projection du chemin parcouru, sur sa direction.

56. *Condition du maximum d'effet.* Si l'on recherche les conditions du maximum d'effet en différenciant l'équation A du N° 53, en y remplaçant $R' + R''$ par sa valeur $\frac{A(P_1 - F \sin \alpha)}{r}$, on trouve

$$\sin \alpha \left(1 - \frac{0,4 f \rho}{r}\right) = \cos \alpha \left(\frac{A}{r} + \frac{0,96 f \rho}{r}\right),$$

d'où

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{A + 0,96 f \rho}{r - 0,4 f \rho};$$

Ce qui nous montre que, pour une voiture donnée, l'angle α doit être d'autant plus grand que la quantité A l'est elle-même davantage.

En appliquant cette formule au cas des expériences précédentes, où l'on a

$$r = 0^m,782, \quad f = 0,05, \quad \rho = 0^m,038. \quad A = 0,0356$$

on trouve

$$\operatorname{tang} \alpha = 0,0503 = \frac{1}{19,9},$$

d'où l'on voit que dans ce même cas le tirage doit être très-peu incliné.

Pour une route en empierrement, où l'on aurait eu, par exemple, $A = 0{,}015$, on trouverait

$$\tang \alpha = 0{,}024 = \frac{1}{41{,}5},$$

Ce qui est à peu près la valeur adoptée pour l'artillerie de siége, qui est destinée à voyager sur les grandes routes.

Il ne nous parait pas nécessaire de pousser plus loin cette discussion, et nous nous bornerons simplement à en conclure que l'inclinaison du tirage dépend principalement de la valeur du rapport $\frac{A}{r}$; mais, qu'entre les limites dans lesquelles elle doit être renfermée, elle a peu d'influence sur le tirage, et que, dans les cas ordinaires, elle doit être très-faible.

57. *Observation sur les conditions qui déterminent ordinairement l'inclinaison du tirage.* Ce n'est pas, au reste, par des considérations du genre de celles que nous venons de rappeler que l'inclinaison des traits est habituellement déterminée. Elle résulte presque toujours des dimensions de l'avant-train, du rayon et, surtout pour les voitures à deux roues, de la condition à peu près obligatoire d'en faire passer la direction prolongée aussi près que possible de l'essieu.

On sent en effet que dans ces dernières voitures, si la direction des traits passait beaucoup au-dessus de l'essieu, l'effort de traction produirait sur les reins du cheval de brancard une pression d'autant plus grande qu'il serait lui-même plus considérable, ce qui fatiguerait beaucoup l'animal, dans les mauvais chemins.

Quant aux voitures à avant-train, l'éloignement de la direction du tirage, du dessus ou du dessous de l'essieu, produit sur les sassoires ou sur les jantes de rond une pression qui tend à soulever l'extrémité antérieure du train de derrière, et à produire dans cette partie, et surtout dans le timon, des oscillations fâcheuses.

On voit donc qu'en général, dans toutes les voitures fortement chargées, où l'on doit ménager les forces des animaux, il convient de faire passer la direction du tirage aussi près que possible de l'essieu, tout en l'inclinant le moins qu'on peut à l'horizon. On doit néanmoins observer qu'il est nécessaire que, dans le tirage ordinaire, les traits soient un peu inclinés au-dessus de l'horizontale, afin que dans le cas où l'effort devient accidentellement

très-grand, et où les chevaux abaissent le poitrail, cette direction ne soit jamais en contre-pente, et devienne au plus horizontale.

Au surplus, comme on a vu qu'il était très-important d'adopter pour les roues de grands diamètres, on sera par là naturellement conduit à donner au tirage une direction voisine de l'horizontale. C'est ainsi que dans l'artillerie nouvelle, par l'adoption de roues de devant égales à celles de derrière, on est arrivé à satisfaire à la fois à toutes les conditions nécessaires.

58. *Expériences sur les dégradations causées aux routes par les voitures suspendues allant au trot, et les voitures non suspendues allant au pas.* Après avoir exposé et discuté les résultats de nos expériences qui concernent l'influence de la largeur des bandes, des diamètres, de la vitesse et de l'inclinaison des traits sur l'intensité du tirage, il nous reste à examiner d'une manière directe l'importante question de la dégradation des routes par les diverses voitures.

On a été jusqu'ici fort incertain de savoir si les chariots et les charrettes, allant au pas, fatiguent plus ou moins les routes que les voitures suspendues, allant au trot. On a généralement admis la deuxième conclusion; en conséquence, tous les tarifs de chargement, et entr'autres celui de la dernière loi sur la police de roulage adoptée par la chambre des pairs, n'ont pas permis aux diligences de charger des poids aussi considérables que les voitures de roulage à largeur égale de jantes.

Nous avons vu précédemment par les observations faites sur l'influence des diamètres des roues, et sur celle de la vitesse de transport avec des voitures suspendues ou non suspendues, que 1° les dégradations étaient d'autant plus grandes que les roues étaient plus petites, et 2° que l'influence de la vitesse était beaucoup moindre avec les voitures suspendues qu'avec celles qui ne le sont pas.

Mais il était en outre nécessaire d'examiner directement la question de la comparaison des dégradations produites par les voitures suspendues allant au trot, et par les voitures non suspendues allant au pas, en la soumettant à l'expérience, afin d'obtenir des résultats incontestables.

59. *Expériences comparatives avec une diligence et un chariot d'artillerie.* A cet effet, ayant obtenu de la complaisance du maître de poste de Metz la libre disposition d'une diligence, nous avons fait marcher cette voiture concurremment avec un chariot à munitions sur l'un des accotemens de la route de Metz à Thionville, entre les 5e et 6e kilomètres, à partir de la

première ville. Cet emplacement avait été préalablement reconnu avec MM. les ingénieurs des ponts et chaussées de la Moselle, et il avait été convenu qu'aucune réparation n'y serait faite pendant toute la durée des expériences.

Nous avions d'abord pensé devoir entreprendre ces expériences à la fois sur les deux accotemens, l'un, celui de droite, étant consacré à la diligence, allant au trot, et l'autre au chariot, allant au pas. Mais après 138 passages de la diligence sur sa piste et 140 du chariot sur la sienne, nous avons reconnu que la diligence avait beaucoup moins dégradé l'accotement, sur lequel elle marchait, que le chariot. Toutefois, il nous parut exister dans la résistance de ces deux accotemens une différence de dureté; celui de droite, fréquenté par la diligence, étant livré depuis deux ans de suite à la circulation, paraissait plus ferme que celui de gauche, parcouru par le chariot; ce qui fut attribué à ce que depuis deux ans ce dernier avait servi de dépôt à des matériaux.

En conséquence, pour éviter toute incertitude, on résolut de faire marcher les deux voitures sur le même accotement, en partageant la longueur désignée en deux parties, de 500 mètres chacune, la première, plus voisine de la ville, étant affectée au chariot à munitions, la deuxième, ou la plus éloignée, étant réservée pour la diligence allant au trot.

Voici quelles étaient les données relatives à ces deux voitures.

			m
DILIGENCE.	Diamètre des roues	de devant	0,90
		de derrière	1,374
	Diamètre moyen des essieux		0,067
	Largeur des bandes de roue		0,069
CHARIOT à munitions.	Diamètre des roues	de devant	1,150
		de derrière	1,585
	Diamètre moyen des essieux		0,063
	Largeur des bandes de roue		0,066

On voit, par ces données, que ces deux voitures différaient par la suspension et par le diamètre des roues, qui étaient plus grandes pour le chariot que pour la diligence. Le poids total était d'ailleurs le même, et de 3050 kilogrammes pour les deux voitures.

Après 84 passages de la diligence et 86 du chariot à munitions, le 11 avril,

la route a été visitée. Les 500 mètres, parcourus par la diligence, ont paru plus dégradés que la partie fréquentée par le chariot. Sur le côté extérieur de l'accotement, la diligence avait formé une ornière de $0^{m},15$ à $0^{m},16$, du côté de la chaussée, il y avait aussi quelques dégradations.

Le chariot avait aussi formé une ornière sur le côté du fossé, mais elle était moins profonde que celle de la diligence, et les dégradations du côté de la chaussée étaient à peu près nulles. Le temps avait été également mêlé de pluie et de sécheresse pour les deux voitures. Le 19 avril, après 202 passages de la diligence et 224 du chariot, on a de nouveau visité la route avec MM. Lemasson, ingénieur en chef, Lejoindre et Plassiard, ingénieurs ordinaires des ponts et chaussées. Il a été reconnu que la partie parcourue par la diligence était en général plus dégradée que celle que suivait le chariot. L'ornière de la diligence avait $0^{m},16$ à $0^{m},20$ de profondeur du côté du fossé, et de $0^{m},03$ à $0^{m},04$ du côté de la chaussée, et celles du chariot étaient moins profondes.

Des expériences ont été faites ensuite avec le dynamomètre à compteur, pour mesurer l'intensité du tirage avec le chariot à munitions, en passant successivement sur les deux parties, les résultats en sont consignés dans le tableau suivant.

Expériences comparatives sur le tirage d'une diligence après 202 passages, et sur celui d'un chariot à munitions après 224 passages, sur un accotement de la route de Thionville.

N^os DES EXPÉRIENCES.	DÉSIGNATION de la partie parcourue.	VITESSE.	NOMBRE de tours de la roulette du compteur.	EFFORT moyen exercé parallèlement au plan de la route.	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux.	RÉSISTANCE au roulement.	VALEUR du coefficient. A
		m		kil	kil	kil	
1	Piste du chariot.	1,465	191	106,0	11,90	94,1	0,0197
2		1,470	187	103,6	11,90	91,7	0,0192
3		1,415	190	105,4	11,90	93,5	0,0196
						Moyenne.	0,0195
4	Piste de la diligence.	1,365	247	137,0	11,90	125,1	0,0261
5		1,315	221	122,5	11,90	110,6	0,0231
6		1,625	230	127,4	11,90	115,5	0,0242
						Moyenne.	0,0245

Les résultats de ces expériences sont d'accord avec l'observation des dé-

gradations de la route pour montrer que la diligence avait plus fatigué la route que le chariot, puisque la résistance au roulement était plus grande sur sa piste que sur l'autre. On doit néanmoins ajouter que les expériences ayant été, par force majeure, faites sur les deux pistes avec le chariot, qui avait une voie moindre que la diligence, la différence indiquée est peut-être un peu trop forte.

Mais on se rappellera que, dans ces expériences, la diligence avait des roues plus petites que le chariot, et marchait au trot, tandis que ce dernier véhicule allait au pas, et il restait à déterminer par l'expérience, si l'excès des dégradations causées par la diligence provenait de la rapidité du mouvement ou de la petitesse des roues. Il fallait donc répéter la même série d'expériences avec la même voiture sur deux pistes pareilles, en ne faisant varier que la suspension.

C'est ce que nous nous proposions d'entreprendre avec cette diligence, lorsque le propriétaire l'ayant vendue, nous fumes obligé de la rendre de suite, et d'interrompre cette série d'expériences.

60. *Expériences comparatives sur les voitures suspendues et non suspendues faites avec une diligence des messageries générales.* J'eus alors recours à l'obligeance de l'administration des messageries générales, et, par l'entremise éclairée de M. Arnous, ancien élève de l'école polytechnique et celui des administrateurs, qui est plus spécialement chargé de la direction des ateliers de construction, j'obtins la libre disposition d'une voiture de ce service pour reprendre ces expériences.

Je choisis, de concert avec MM. les ingénieurs du département de la Moselle, un emplacement convenable sur la route de Metz à Nancy, entre les villages de Jouy et de Montigny, où cette route, en très-bon état, est à peu près horizontale.

L'accotement de gauche, entre le troisième et le quatrième kilomètre, me fut livré en très-bon état, et j'assignai les trois cents premiers mètres au passage de la diligence non suspendue, allant au pas, et les trois cents suivans pour son passage au trot et suspendue.

Pour transformer cette voiture suspendue en un chariot non suspendu, il suffisait de caler la caisse au-dessus de chaque essieu et au-dessus de la flèche à l'avant et à l'arrière-train, à l'aide de coins en bois pouvant se mettre et s'enlever facilement. La voiture passait ainsi à volonté d'un état à un autre.

Le chargement fut formé avec des boulets mis dans des caisses placées

dans l'intérieur, dans la rotonde et sur l'impériale, de manière à répartir la charge à peu près comme on le fait dans le service habituel. Le poids total de la voitnre a été de 4402 kilogrammes, ce qui, avec les observateurs qu'elle portait habituellement, l'élevait par fois à 4597 kilogrammes. La largeur des jantes étant de $0^m,11$, on voit que ce chargement atteignait et dépassait même le maximum fixé par le tarif contenu dans la dernière loi adoptée par la chambre des pairs.

Il résulte de ce qui précède que, dans ces expériences, tout était identique pour les deux parties de la route, sauf l'allure et la suspension. Il nous reste à en faire connaître les résultats.

Après 300 passages sur chacune des deux pistes, la route a été visitée par MM. Lemasson, ingénieur en chef, et Lejoindre, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées. Il a été reconnu que la partie fréquentée par la diligence non suspendue, allant au pas, était en beaucoup plus mauvais état que celle qui l'avait été par la diligence suspendue, allant au trot.

Dans la première partie, l'ornière du côté du fossé avait environ $0^m,15$ à $0^m,20$ de profondeur moyenne, et dans la deuxième partie, elle n'avait que $0^m,10$ à $0^m,15$.

Du côté de la chaussée entretenue, sur une partie solide, la diligence non suspendue, allant au pas, avait formé sur les 300 mètres parcourus une ornière de $0^m,04$ à $0^m,06$ de profondeur, tandis que, suspendue et allant au trot, elle n'en avait produit qu'une de $0^m,03$ à $0^m,05$ dans quelques endroits seulement.

La piste des chevaux, on l'intervalle des ornières, était aussi un peu plus désagrégée dans la partie parcourue au pas que dans celle qui l'était au trot.

Des expériences comparatives sur l'intensité du tirage sur les deux pistes ont aussi été faites, et les résultats en sont consignés dans le tableau suivant.

Expériences comparatives sur les dégradations produites par une diligence des sur un accotement de la

ÉTAT DE LA ROUTE.	DÉSIGNATION DES PISTES.	NOMBRE de passages.	NOMBRE de chevaux.	ALLURE.
	Sur les deux pistes	0	4	Pas
Ornières humides, celle du côté du fossé remplie de boue épaisse.	Piste du pas	300	4	Pas
	Piste du trot	300	4	Pas
Route sèche; mais les ornières de l'accotement conservant un peu d'humidité et de boue.	Piste du pas	315	4	Pas
	Piste du trot	315	4	Pas
Route un peu humide	Piste du pas	330	4	Pas
	Piste du trot	330	4	Pas

messageries générales suspendue, allant au trot, et non suspendue, allant au pas, route de Metz à Nancy.

VITESSE.	NOMBRE de tours de la roulette du compteur.	EFFORT moyen exercé parallèlement au plan de la route. F	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux.	RÉSISTANCE au roulement. R	VALEUR du coefficient. A	DONNÉES et formule employée.	OBSERVATIONS.
m		kil	kil	kil			
1,37	»	163,5	12,0	151,5	0,0196	$P_1 = 4402.$	
1,25	»	169,2	12,0	157,2	0,0204	$\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''} = 7724.$	
1,25	»	168,2	12,0	156,2	0,0202		
				Moyenne.	0,0200		
1,25	283,0	302,0	12,0	280,0	0,0363	Pour calculer le travail développé on a employé la formule $Fe = 309{,}6\,N.$	
1,25	230,7	246,0	12,0	234,0	0,0303		
1,25	237,0	253,0	12,0	241,0	0,0312		
				Moyenne.	0,0326		
1,25	246,9	263,5	12,0	251,0	0,0326		
1,25	205,7	220,0	12,0	208,0	0,0270	*Idem.*	
1,25	215,0	230,0	12,0	216,6	0,0280		
				Moyenne.	0,0292		
1,25	200,0	217,0	12,0	205,0	0,0266		
1,25	185,2	206,2	12,0	194,0	0,0252	*Idem.*	
1,25	180,5	196,0	12,0	184,0	0,0238		
				Moyenne.	0,0252		
1,25	176,2	195,0	12,0	183,0	0,0237		
1,25	171,5	186,0	12,0	174,0	0,0225	*Idem.*	
1,25	188,0	204,5	12,0	192,5	0,0249		
				Moyenne.	0,0234		
1,25	»	212,0	12,0	200,0	0,0259		
1,25	»	201,0	12,0	189,0	0,0251		
1,25	»	191,0	12,0	179,0	0,0232	*Idem.*	
1,25	»	214,0	12,0	212,0	0,0260		
1,25	»	226,7	12,0	214,7	0,0286		
1,25	»	219,0	12,0	207,0	0,0268		
				Moyenne.	0,0259		
1,25	»	205,0	12,0	193,0	0,0250		
1,25	»	186,7	12,0	174,7	0,0226		
1,25	»	186,0	12,0	174,0	0,0225	*Idem.*	
1,25	»	212,0	12,0	200,0	0,0260		
1,25	»	215,0	12,0	203,0	0,0269		
				Moyenne.	0,0246		

61. *Examen des résultats consignés dans le tableau précédent.* La première série d'expériences, consignées dans ce tableau, a eu pour but de déterminer, avant toute dégradation, la valeur du coefficient A relative à l'accotement sur lequel on devait opérer.

La seconde série a été faite, après 300 passages, en faisant marcher au pas la voiture suspendue sur les deux pistes. Il avait plu quelques jours avant ce moment, l'ornière du côté du fossé était remplie d'une boue épaisse, et la résistance était considérable. On remarquera que le premier passage sur chacune des deux pistes a donné une résistance sensiblement plus grande que les deux autres, ce qui tient à la présence de la boue épaisse, qui fut expulsée par ce premier passage.

Cette série indique que la résistance était plus grande de $\frac{1}{6}$ environ sur la piste du pas que sur celle du trot.

La troisième série a été faite, après 315 passages sur les deux pistes, lorsque la route était à peu près sèche, mais alors, l'ornière du côté du fossé était encore humide et un peu boueuse, surtout dans certains endroits.

Elle indique aussi que la résistance était plus grande, mais seulement de $\frac{1}{12}$, sur la piste du pas que sur celle du trot.

La quatrième série, faite après 330 passages sur la route un peu plus sèche que la veille, indique aussi que la résistance était plus grande, mais de $\frac{1}{20}$ seulement, sur la piste du pas que sur celle du trot.

Toutes ces expériences sont donc d'accord avec les résultats de l'observation de l'état de la route, pour constater que la diligence suspendue a produit moins de dégradations et, par suite, moins d'augmentation dans le tirage, en allant au trot, que la diligence non suspendue, allant au pas.

On remarquera que la différence diminuait à mesure que la route devenait moins humide et les ornières moins boueuses; ce qui est facile à concevoir, attendu que, quand il faisait de la boue, l'ornière de la piste du pas étant plus profonde que celle de la piste du trot, devait en contenir davantage, et, par conséquent, être plus tirante, tandis que, quand les ornières étaient sèches, le fond se trouvait au même état, et que la différence ne provenait alors, en grande partie, que de la désagrégation de la partie solide du côté de la chaussée.

62. *Conséquence de ces expériences.* De cette discussion, nous sommes donc autorisé à conclure que

Les voitures suspendues, allant au trot, fatiguent moins les routes que les

chariots ou voitures non suspendues, allant au pas, quand les autres circonstances, de charge, de dimensions des roues, etc., sont les mêmes.

Par conséquent, sous le rapport de la conservation des routes, la loi sur la police du roulage doit favoriser les voitures suspendues, et leur permettre des chargemens aussi forts, au moins, qu'aux voitures non suspendues, allant au pas, sauf à se renfermer dans les limites que la sécurité des voyageurs peut exiger. Enfin, l'usage des voitures non suspendues, allant au trot, doit être interdit complètement, ou la loi doit au moins tendre à le faire disparaître.

63. *Les dégradations des routes sont en rapport avec le rayon des roues.* Si maintenant nous revenons à la série d'expériences faites comparativement avec la diligence de Nancy, suspendue et allant au trot, et le chariot de parc de siége d'artillerie, allant au pas, nous voyons que l'excès des dégradations causées par la diligence sur celles produites par le chariot provenait, non pas de l'allure, mais de la différence notable des diamètres des roues. D'où nous sommes de nouveau autorisé à conclure *que les petites roues occasionnent beaucoup plus de dégradations que les grandes*, ainsi que nous l'avions déjà précédemment établi par le raisonnement et l'observation directe.

Il est donc à la fois de l'intérêt de l'industrie des transports et du service public des communications d'augmenter autant que possible les diamètres des roues, et pour y parvenir, le moyen qui nous semble le plus efficace c'est que les tarifs sur la police du roulage fixent des limites inférieures, mais assez élevées, aux rayons des roues des voitures pesamment chargées, et favorise l'usage des grandes roues en tolérant des chargemens croissant dans un certain rapport avec les diamètres. Les charrettes à deux roues ayant toujours de plus grandes roues que les chariots, leur usage doit donc être favorisé au lieu d'être restreint. Il en est de même de celui des chariots dits comtois. Il est d'ailleurs bien entendu que la fixation des diamètres des roues devra être établie sans perdre de vue la sécurité des voyageurs, et limitées aux dimensions qui ne rendraient pas les voitures trop versantes.

64. *Remarque sur l'accord des expériences avec la pratique.* Nous ferons remarquer que, sons plusieurs rapports, l'industrie du transport a depuis long-temps suivi les principes que nous concluons de l'expérience. En effet, nous voyons les charrettes à grandes roues continuer à être en usage malgré la fatigue que les brancards font éprouver au cheval dans les mauvais chemins, le triqueballe conservé pour le transport des lourds fardeaux, et

nous observerons, à ce sujet, que des charrettes construites de manière à recevoir une partie de leur chargement au-dessous de l'essieu, afin que le centre de gravité soit sur son axe ou au-dessous, fatigueraient beaucoup moins le cheval de brancard, en diminuant la violence des contre-coups qu'il reçoit sur les reins.

Les chariots à un cheval, dits comtois, à quatre roues, dont celles de devant ont $1^m,10$ à $1^m,30$ de diamètre, tandis que celles des gros chariots à plusieurs chevaux n'ont que $0^m,80$ à $0^m,90$ au plus, nous offrent un autre exemple de cet avantage des grands diamètres; car ils portent en pays de plaine 1000 à 1100 kilogrammes, et quelquefois plus, par cheval, tandis que les chariots à plusieurs chevaux ne mènent dans les mêmes routes que 7 à 800 kilogrammes. C'est donc à cette différence dans les dimensions que l'on doit attribuer en grande partie la persistance des voituriers de Franche-Comté à les employer, malgré l'encombrement qu'ils occasionnent.

Enfin, les peuples du Nord ont avec raison conservé dans leurs voitures de voyage l'usage des grandes roues de devant.

65. *Observation relative à la nouvelle artillerie française.* Ajoutons que l'artillerie française dans la construction de son nouveau matériel a, sous ce rapport, dévancé tous les progrès de l'industrie particulière, en adoptant l'usage des grandes roues de $1^m,482$ pour l'artillerie de campagne, et de $1^m,562$ pour celle de siége pour les deux trains, et a été conduite ainsi à une inclinaison très-faible des traits, ce qui, dans tous les cas du service, produit, comme on l'a vu au N° 48, le maximum d'effet utile pour un effort donné du moteur.

66. *Résultats de quelques expériences sur les divers terrains.* Nous ajouterons aux tableaux précédens les résultats de quelques autres expériences faites sur des routes à différens états, sur un tablier de pont en madriers et sur une route couverte de neige.

N°s des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Diamètre des roues de devant.	Diamètre des roues de derrière.	Largeur des jantes.	Pression sur le sol. P_1	Pression sur les essieux de devant. P'	Pression sur les essieux de derrière P''	Nombre de chevaux.	Allure.
			m	m	m	m	kil	kil	kil		
1	Route de la gorge du fort Belle-Croix, en empierrement en bon état, très-peu de cailloux à fleur du sol, mouillée, couverte de boue, un peu tirante.	Appareil avec arbre en fonte.	50	0,787	»	0,137	1025,68	80	»	1	Pas
2			50								
3			50								
4			40								
5			50								
6			100								
7		Même appareil avec roues de 12 de campag.	80	1,482	»	0,074	2163,2	70,4	»	2	Pas
8			80								
9			80								
10	Même route, sur une partie fatig., boueuse; le cailloutage ayant été mis à nu par le passag. de nombreux tomber. penda^t six semaines.	Même appareil.	80	1,482	»	0,074	2163,2	70,4	»	1	Pas
11			60								
12			70								
13			90								
14			80								
15	Tablier en madriers du pont susp. de Chambière.	*Idem.*	48	1,482	»	0,074	2163,2	70,4	»	2	Pas
16			42,25								
17	Route de Thionville sur l'accotem. couv. de neige non frayée sur sur une épaiss. de $0^m,13$.	Chariot à munitions	300	1,15	1,584	0,070	2746,0	1207,5	1207,5	4	Pas
18							2746,0	1207,5	1207,5		
19							2616,0	1142,5	1142,5		
20							2616,0	1142,5	1142,5		
21	Même route, au milieu de la chaussée sur la neige frayée.	*Idem.*	300	1,15	1,584	0,070	2746,0	1207,5	1207,5	4	Pas
22											
23											

VITESSE. V	PENTE du chemin par mètre courant. $\frac{h}{L}$	NOMBRE de tours de la roulette du compteur.	EFFORT exercé par le moteur parallèlement au plan de la route.	EFFORT EMPLOYÉ à vaincre la gravité.	EFFORT EMPLOYÉ à vaincre le frottement des essieux.	RÉSISTANCE au roulement. R	VALEUR du coefficient. A	DONNÉES et formule employée.	OBSERVATIONS.
m	m		kil	kil	kil	kil			
1,16	0,0271	»	65,1	27,8	»	37,3	0,0143	$\frac{P_1}{r} = 2610.$	
1,28	0,0343	»	76,1	35,2	»	40,9	0,0158		
1,22	0,0316	»	76,8	32,4	»	44,4	0,0171		
1,17	0,0095	»	52,7	9,7	»	43,0	0,0166		
1,19	0,0167	»	57,7	17,1	»	40,6	0,0156		
1,22	0,0148	»	50,5	15,0	»	35,5	0,0137		
						Moyenne.	0,0155		
1,45	0,0344	»	10,0	74,5	»	45,5	0,0155	$\frac{P_1}{r} = 2920.$	
1,43	0,0136	»	73,8	29,4	»	44,4	0,0151		
1,32	0,0227	»	91,5	49,0	»	42,5	0,0145		
						Moyenne.	0,0150		
1,30	0,0121	»	108,2	26,2	»	82,0	0,0279		
1,39	-0,0121	»	72,0	-26,2	»	98,2	0,0334		
1,40	-0,0018	»	61,6	3,9	»	65,5	0,0223		
1,25	0,0120	»	110,8	26,0	»	84,8	0,0289		
1,34	-0,0120	»	68,4	-26,0	»	94,4	0,0322		
						Moyenne.	0,0289		
1,27	0,000	»	38,7	»	»	38,7	0,0132		
1,41	0,000	»	31,7	»	»	31,7	0,0108		
						Moyenne.	0,0120		
1,50	-0,0008	»	174,2	-2,1	5,9	170,5	0,0412	$\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''} = 4130.$	
1,50	0,0021	»	172,3	5,8	5,9	160,6	0,0388	*Idem.*	
1,50	0,0005	»	173,8	1,2	5,5	169,5	0,0433	$\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''} = 3920.$	
1,50	0,0000	»	162,8	0,0	5,5	156,8	0,0378		
						Moyenne.	0,0402		
1,50	0,0005	»	158,3	1,2	5,9	151,2	0,0367	$\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''} = 4130.$	
1,50	0,0008	»	147,2	1,0	5,9	140,3	0,0337		
1,50	0,0002	»	152,4	0,6	5,9	145,9	0,0352		
						Moyenne.	0,0352		

67. *Résumé des résultats contenus dans les tableaux précédens.* On a réuni dans le tableau suivant tous les résultats des expériences contenues dans ce Mémoire, et ceux de l'application de la formule

$$\frac{T}{P_1} = \frac{2(A + f\rho)}{r' + r''}.$$

du N° 21, qui donne la valeur approchée du rapport du tirage horizontal en terrain de niveau pour les diverses voitures en usage, marchant au pas.

On y a joint la valeur du même rapport, calculée pour quelques voitures allant au trot, à une vitesse que l'on a supposée de 3 mètres en 1 seconde, ou de 2,7 lieues à l'heure.

Pour faire ces calculs, on a supposé à toutes ces voitures les mêmes essieux de $0^m,032$ de rayon moyen et les boites bien graissées, de sorte que $f = 0,05$.

La valeur de A a été calculée pour chaque voiture d'après celles de $a + \alpha(0,280 - l)$ et de δ, qui sont consignées dans le même tableau et résultent directement de l'expérience.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS GÉNÉRALES DES EXPÉRIENCES SUR LE TIRAGE DES VOITURES.

En récapitulant les conséquences que nous avons déduites des diverses séries d'expériences dont nous venons de rendre compte, on peut donc établir comme bases de la théorie du tirage des voitures et de la législation sur la police de roulage les principes suivans.

1° La résistance opposée au roulement des voitures de tout genre par les différens sols, et rapportée à l'axe de l'essieu dans une direction parallèle au terrain, est

Proportionnelle à la pression,

Et inversement proportionnelle au rayon des roues.

2° Les dégradations produites par les voitures sur les routes sont d'autant plus grandes que les roues sont plus petites.

D'où il suit que l'industrie des transports doit chercher à donner à ses voitures les plus grandes roues possible, et que, dans l'intérêt du service public, d'accord avec celui de cette industrie, la législation doit favoriser

l'emploi des grandes roues, en permettant des chargemens croissant avec le diamètre des roues dans un rapport qu'il conviendra d'ailleurs de combiner avec les conditions de stabilité et de sûreté publique.

3° Sur les chaussées pavées ou en empierrement, la résistance est, à très-peu près, indépendante de la largeur de la bande de roue, dès qu'elle a atteint $0^{m},08$ à $0^{m},10$ de largeur.

4° Sur les terrains compressibles, tels que les terres, les sables, le gravier, les rechargemens en matériaux mobiles et les routes neuves en empierrement, la résistance au roulement décroit proportionnellement à l'accroissement de la largeur des bandes, dans un rapport qui dépend de la nature du terrain.

Il en résulte que, sur les chaussées pavées, il n'y a aucun avantage, ni pour l'industrie ni pour l'état, à employer de larges jantes. Il suffit qu'elles aient les dimensions exigées pour la solidité de la voiture; et sur les routes ordinaires en empierrement, il est inutile d'employer des largeurs de jante de plus de $0^{m},10$ à $0^{m},12$.

5° Sur les terrains mous, tels que les terres, le sable, les accotemens en terre, en bon état ou avec ornières, les rechargemens épais de gravier sur des sols durs, ou les rechargemens de $0^{m},04$ à $0^{m},06$ d'épaisseur sur les accotemens des routes, la résistance est indépendante de la vitesse pour les voitures suspendues ou non suspendues.

6° Au pas, sur toutes les routes, et même sur le pavé en bon état, la résistance est la même pour les voitures suspendues ou non suspendues.

7° Sur les routes en empierrement et sur le pavé, la résistance croit avec la vitesse, de manière que ses accroissemens sont proportionnels à ceux de la vitesse à partir de celle de un mètre en une seconde.

L'augmentation est d'autant moindre que la voiture est moins rigide, mieux suspendue et la route plus unie. Elle est assez faible entre les vitesses du pas et du grand trot pour les diligences des messageries bien suspendues, sur les routes en empierrement en très-bon état, qui n'offrent pas de cailloux à fleur du sol.

8° Sur un bon pavé en grès, bien serré et bien uni, tel que celui de Metz, la résistance au pas n'est que les trois quarts environ de celle qu'offrent les meilleures routes en empierrement, et pour les voitures bien suspendues, la résistance au grand trot, sur un bon pavé, est la même que sur une route en empierrement en bon état qui présente quelques cailloux à fleur du sol.

Mais quand le pavé n'est pas très-bien entretenu, la résistance au trot est moindre sur les bonnes routes en empierrement que sur le pavé, même pour les voitures les mieux suspendues.

9° Les voitures non suspendues, allant au pas, fatiguent et détériorent davantage les routes que les voitures suspendues, allant au trot, et il en serait à plus forte raison, de même des voitures non suspendues, allant au trot. Il suit de là que, sous le rapport de la conservation des routes, les tarifs de chargement peuvent permettre aux voitures de messageries bien suspendues les mêmes poids qu'aux voitures de roulage; mais, dans l'intérêt de la conservation des routes, on doit interdire tout service de messageries non suspendues, allant au trot.

10° L'inclinaison du tirage correspondante au maximum d'effet utile doit, en général, croître avec la résistance du sol, et être d'autant plus grande que le rayon des roues de l'avant-train est plus petit. Ce qui, sur les routes ordinaires, conduit à se rapprocher de la direction horizontale, autant que la construction de la voiture le permet.

Tableau sommaire des résultats des expériences sur la résistance

DÉSIGNATION ET ÉTAT DE LA ROUTE PARCOURUE PAR LES VOITURES.	VALEUR DU TERME indépendant de la vitesse $a + \alpha (0^m,280\ l)$ pour des largeurs de jante			VALEUR du terme dépendant de la vitesse δ (V—1).
	$l = 0^m,070$.	$l = 0^m,12$.	$l = 0^m,17$.	
Peleuze couverte de gazon sur un sol en terre homogène, détrempé par la fonte des neiges, très-humide, sans eau apparente.	0,0844	»	»	0
Même sol un peu moins mou..........................	0,0529	0,0494	0,0458	0
Même sol moins mou..........................	»	0,0356	»	0
Même sol ferme..........................	0,0337	0,0314	0,0292	0
Même sol très-sec..........................	»	0,0259	»	0
Accotement en terre d'une route en empierrement en très-bon état, à peu près sec.	»	0,0200	»	0
Même accotement avec une ornière de $0^m,05$ à $0^m,06$ du côté du fossé.	»	0,0217	»	0
Même accotement avec une ornière de $0^m,10$ à $0^m,15$ du côté du fossé, et de $0^m,05$ à $0^m,06$ du côté de la chaussée.	»	0,025 à 0,028	»	0
Même accotement recouvert d'un couche de gravier de $0^m,03$ à $0^m,04$. Très-sec...	»	0,0484	»	
Même accotement recouvert d'un couche de gravier de $0^m,03$ à $0^m,04$. Mouillé...	0,0562	»	»	0
Même accotement recouvert d'une couche de gravier de $0^m,05$ à $0^m,06$.	0,0625	»	»	0
Même accotement recouvert d'une couche de neige non frayée.	0,0402	»	»	0
Sol en terre ferme recouvert d'une couche de gravier de $0^m,10$ à $0^m,15$ d'épaisseur.	0,0665	»	»	0
Sol en terre ferme recouvert d'une couche de sable fin mêlé de gravier, sur une épaisseur de $0^m,10$ à $0^m,15$.	0,0809	0,0738	0,0666	0
Chemin en empierrement médiocrement entretenu, couvert de $0^m,05$ à $0^m,08$ de boue épaisse.	»	0,0440	»	0
Chemin en empierrement uni, mais peu fréquenté, humide.	»	0,0320	»	0
Route de Metz à Montigny, en empierrement, entretenue en petits graviers, en parfait état, très-sèche et sans poussière.	»	0,0110	»	Charrettes et affûts 0,00210; Diligences suspendues 0,00100

opposée par les différens terrains au tirage des voitures.

RAPPORT DU TIRAGE HORIZONTAL A LA CHARGE EN TERRAIN DE NIVEAU.						
AFFUTS d'artillerie et charrettes $l=0^m10$ à 0^m12 $r'=r''=0^m782$ $r'+r''=1^m564$.	CHARIOTS d'artillerie $l=0,070$ à $0,075$ $r'+r''=1^m355$.	CHARIOTS comtois $l=0^m070$ $r'+r''=1^m30$.	CHARIOTS de roulage $l=0^m15$ à 0^m17 $r'+r''=1,075$.	DILIGENCES des messageries générales $l=0^m10$ à 0^m11 $r'+r''=1^m15$.	VOITURES à trains suspendus.	OBSERVATIONS.
»	$\frac{1}{79}$	»	»	»	»	
$\frac{1}{14,8}$	$\frac{1}{12,4}$	$\frac{1}{11,9}$	$\frac{1}{11,3}$	$\frac{1}{11,8}$	»	
»	»	»	$\frac{1}{14,5}$	$\frac{1}{16,5}$	»	
$\frac{1}{28,7}$	$\frac{1}{19,2}$	$\frac{1}{18,4}$	$\frac{1}{17,8}$	$\frac{1}{17,4}$	»	
»	»	»	»	»	»	
$\frac{1}{38,2}$	$\frac{1}{31,3}$	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{20,0}$	»	
$\frac{1}{33,3}$	$\frac{1}{29}$	$\frac{1}{27,7}$	$\frac{1}{22,3}$	$\frac{1}{24,7}$	»	
$\frac{1}{30,6}$	$\frac{1}{26,8}$	$\frac{1}{25,1}$	$\frac{1}{21,1}$	$\frac{1}{22,5}$	»	
$\frac{1}{15,6}$	$\frac{1}{13,3}$	$\frac{1}{13}$	$\frac{1}{10,7}$	$\frac{1}{11,5}$	»	
$\frac{1}{13,8}$	$\frac{1}{11,3}$	$\frac{1}{11,1}$	$\frac{1}{9,2}$	$\frac{1}{9,8}$	»	
$\frac{1}{12,2}$	$\frac{1}{10,6}$	$\frac{1}{10,1}$	$\frac{1}{8,4}$	$\frac{1}{9}$	»	
$\frac{1}{16,7}$	$\frac{1}{14,5}$	$\frac{1}{13,8}$	$\frac{1}{11,7}$	$\frac{1}{12,3}$	»	
$\frac{1}{11,0}$	$\frac{1}{9,95}$	$\frac{1}{9,5}$	$\frac{1}{7,9}$	$\frac{1}{8,5}$	»	
$\frac{1}{10,4}$	$\frac{1}{8,2}$	$\frac{1}{7,9}$	$\frac{1}{7,9}$	$\frac{1}{7,6}$	»	
»	»	»	»	»	»	
$\frac{1}{25,3}$	$\frac{1}{20,2}$	$\frac{1}{19,3}$	$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{17,1}$	»	
pas $\frac{1}{62}$	$\frac{1}{53,7}$	$\frac{1}{51,3}$	$\frac{1}{42,7}$	pas $\frac{1}{45,0}$	»	
trot $\frac{1}{50,7}$	»	»	»	trot $\frac{1}{43,9}$	»	La vitesse du trot est supposée de 3m en 1'', ou 2 lieues 7 à l'heure.

Suite du *Tableau sommaire des résultats des expériences sur la*

DÉSIGNATION ET ÉTAT DE LA ROUTE PARCOURUE PAR LES VOITURES.		VALEUR DU TERME indépendant de la vitesse $a + \alpha\ (0^m,280\ l)$ pour des largeurs de jante			VALEUR du terme dépendant de la vitesse $\delta\ (V-1)$.
		$l=0^m,070$.	$l=0^m,12$.	$l=0^m,17$.	
Route de Metz à Nancy, entre Montigny et Jony, en bon état, avec quelques cailloux à fleur du sol.	Un peu humide....	»	0,0122	»	0
	Très-mouillée, couverte d'un peu de boue liquide.	»	0,0152	»	Diligences suspendues 0,00180
Route de la gorge de Belle-Croix, semblable à la précédente.	Très-mouillée, couverte d'un peu de boue liquide.	»	0,0155	»	0
	Très-fatiguée, couverte de boue ép^{se}.	»	0,0289	»	0
Route de Metz à Thionville, en bon état, avec cailloutage à fleur du sol.	Sèche	»	0,0082	»	Chariots 0,0031
	Mouillée et couverte de boue.	»	0,0128	»	Diligences suspendues 0,00345
	Très-fatiguée, avec boue épaisse.	»	0,0289	»	0
	Couverte de neige frayée.	»	0,0353	»	0
Idem.		0,0152	»	»	Calèche d'Erhler, 0,0019
Pavé en grès de Sierck, en parfait état............		»	0,0074	»	Affûts de charrettes 0,00602 Chariots 0,00540 Diligences suspendues 0,00282
Pavé de Paris en bon état.....................		»	0,0104	»	Chariots non suspendus 0,0093 Voitures à trains suspendus 0,0023
Tablier en madriers du pont suspendu de l'île Chambière à Metz.		0,0120	»	»	0

résistance opposée par les différens terrains au tirage des voitures.

RAPPORT DU TIRAGE HORIZONTAL A LA CHARGE EN TERRAIN DE NIVEAU.						
AFFUTS d'artillerie et charrettes $l=0^m10$ à 0^m12 $r'=r''=0^m782$ $r'+r''=1^m564$.	CHARIOTS d'artillerie $l=0,070$ à $0,075$ $r'+r''=1^m355$.	CHARIOTS comtois $l=0^m070$ $r'+r'=1^m30$.	CHARIOTS de roulage $l=0^m15$ à 0^m17 $r'+r''=1,075$.	DILIGENCES des messageries générales $l=0^m10$ à 0^m11 $r'+r''=1^m15$.	VOITURES à trains suspendus.	OBSERVATIONS.
$\frac{1}{56,6}$	$\frac{1}{49,1}$	$\frac{1}{47,1}$	$\frac{1}{39}$	$\frac{1}{41,7}$	»	
$\frac{1}{46,7}$	$\frac{1}{40,4}$	$\frac{1}{48,7}$	$\frac{1}{32}$	pas $\frac{1}{34,5}$ trot $\frac{1}{28,2}$	» »	
$\frac{1}{40,8}$	$\frac{1}{39,5}$	$\frac{1}{38}$	$\frac{1}{31,3}$	$\frac{1}{33,7}$	»	
$\frac{1}{25,7}$	$\frac{1}{22,3}$	$\frac{1}{21,4}$	$\frac{1}{17,7}$	$\frac{1}{18,9}$	»	
$\frac{1}{72,4}$	$\frac{1}{62,8}$	$\frac{1}{60,2}$	$\frac{1}{49,8}$	$\frac{1}{50,9}$	»	
$\frac{1}{54,3}$	$\frac{1}{47,3}$	$\frac{1}{45,2}$	$\frac{1}{37,3}$	pas $\frac{1}{39,9}$ trot $\frac{1}{27,0}$	» »	
»	»	»	»	»	»	
»	»	»	»	»	Calèche de M. Ezhler, $r+r'=1^m,41$.	
»	»	»	»	»	pas........ $\frac{1}{33,7}$ trot........ $\frac{1}{27,3}$ grand trot $\frac{1}{23,2}$	2 lieues 7 en 1 heure. 3 lieues 15 en 1 heure.
»	»	»	»	»	»	
pas $\frac{1}{57,1}$ trot $\frac{1}{47,4}$	pas $\frac{1}{75}$ trot $\frac{1}{44,2}$	$\frac{1}{72,2}$ »	$\frac{1}{50,7}$ »	pas $\frac{1}{63}$ trot $\frac{1}{56,7}$	» »	
$\frac{1}{63}$	$\frac{1}{56}$	$\frac{1}{54}$	$\frac{1}{46}$	»	$r+r'=1^m,15$. pas........ $\frac{1}{48}$ trot........ $\frac{1}{38,4}$ grand trot $\frac{1}{36}$	2 lieues 7 en 1 heure. 3 lieues 15 en 1 heure.
$\frac{1}{57,3}$	$\frac{1}{49,8}$	$\frac{1}{47,9}$	$\frac{1}{39,6}$	$\frac{1}{42,2}$	»	

Ce tableau met en évidence le grand avantage des voitures à grandes roues. Car on voit que la résistance des diverses voitures d'artillerie y est non-seulement toujours moindre au pas que celle des diligences, mais que les plus dures de ces voitures, les affûts de siége, par exemple, par suite du grand diamètre de leurs roues, allant au trot sur une route en très-bon état, n'offrent qu'une résistance égale à $\frac{1}{46,7}$ du poids total, tandis que la diligence en présente une de $\frac{1}{43.9}$, et que de même, sur le pavé de Metz, la résistance d'un affût de siége n'est, au trot, que $\frac{1}{47.4}$ de son poids, tandis que, pour la diligence, elle est, sur le même pavé, égale à $\frac{1}{56.7}$, ainsi, dans ce cas, l'accroissement du diamètre compense en grande partie les avantages de la suspension, sous le rapport de l'économie du travail moteur.

FIN DU MÉMOIRE.

PIÈCE

A L'APPUI DES RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES

SUR LA DÉGRADATION DES ROUTES.

Le 17 mai, l'accotement de gauche de la route de Nancy entre Montigny et Jony, depuis la borne kilométrique n° 4, jusqu'à la borne hectométrique n° 6, a été livré, pour les expériences, en parfait état d'entretien.

Les trois cents premiers mètres, depuis la borne kilométrique n° 4, jusqu'à la borne hectométrique n° 3, ont été désignés pour le passage au pas de la diligence non suspendue et les trois cents derniers mètres, depuis la borne hectométrique n° 3, jusqu'à la borne hectométriqne n° 6, pour le passage de la diligence suspendue allant au trot. Il n'existait à cette époque aucune différence apparente dans l'état des deux parties.

Metz, le 17 mai 1838.

Le 8 juin, la route a été visitée avec MM. Le Masson, ingénicur en chef, Le Joindre, ingénieur ordinaire. Il a été reconnu que la partie comprise entre la borne kilométrique n° 4 et la borne hectométrique n° 3, sur laquelle avait passé trois cents fois la diligence non suspendue, allant au pas, était en beaucoup plus mauvais état que la partie comprise entre la borne hectométrique n° 3 et la borne hectométrique n° 6, parcourue par la diligence suspendue allant au trot.

L'ornière du côté du bord extérieur avait environ $0^m,15$ à $0^m,20$ de profondeur moyenne dans la première partie, et seulement $0^m,10$ à $0^m,15$ dans la deuxième. L'ornière du côté du milieu de la route, dans une partie solide et voisine de la chaussée entretenue, avait moyennement de $0^m,04$ à $0^m,06$ de profondeur sur l'étendue de la première partie, tandis qu'elle n'avait que $0^m,03$ à $0^m,05$ dans une portion seulement de la seconde partie et beaucoup moins dans le reste.

13

La piste des chevaux ou l'intervalle des ornières, était aussi plus désagrégée dans les trois cents premiers mètres que dans les trois cents derniers.

On a répété en présence des ingénieurs soussignés, les expériences rapportées au n° 23, sur les désagrégations produites par le glissement des obstacles placés devant les grandes et les petites roues. Les effets signalés dans ce numéro ont été vérifiés. On a reconnu que les petites roues poussaient et faisaient glisser en avant les cailloux de $0^m,05$ à $0^m,06$ de hauteur, et produisaient ainsi une désagrégation considérable dans le sol, sur une étendue de $0^m,08$ à $0^m,10$ dans le sens du mouvement, tandis que l'effet des grandes roues se bornait à enfoncer plus ou moins les obstacles dans le sol, sans les faire marcher en avant d'une quantité notable et surtout sans produire des effets de désagrégation apparens.

Metz, le 8 juin 1838.

A. MORIN. **LE JOINDRE,** *Ingénieur ordinaire* **LE MASSON,** *Ingénieur en chef.*

TABLE DES MATIÈRES.

Fonte .

Largeur des jantes .

uvres de l'École d'Application.

Plan . Fig : 1 .

Fig : 3 .

e de Metz. Fig : 4 .

de l'Arsenal . Fig : 5 .

Fig : 2 .

Polygone de Metz . Fig : 6

Fort Belle-Croix . Fig : 7 .

s de Sierck . Fig : 8 .

1 mètres .

Lith. de Nouvian à Metz .


NAPOLI

